# PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 23. 9. November 1905. 6. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 24 am 8. November 1905.

INHALT.

**77. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte zu Meran, vom 24. bis 30. September 1905.** S. 753.
**Vorträge und Diskussionen von der 77. Naturforscherversammlung zu Meran:**
E. Riecke, Über die Elektromechanik des Galvanismus und der Wärme. S. 754.
A. Waßmuth, Über die Ermittlung der thermischen Änderungen des Elastizitätsmoduls aus den Temperaturänderungen bei der gleichförmigen Biegung von Metallstäben. S. 755.
W. Seitz, Über eine neue Art sehr weicher Röntgenstrahlen. S. 756.
P. Salcher, Das Zusammensetzen gleichzeitiger Bewegungen und zwei dazu dienende Apparate: Wurf- und Kreisbewegungsdiagraph. S. 758.
W. Gaede, Demonstration einer rotierenden Quecksilberluftpumpe. S. 758.
J. Stark, Der Stand der Forschung über die Elektrizität in Gasen. S. 761.
F. Streintz, Über Metallstrahlen. S. 764.
H. W. Schmidt, Einfache Methode zur Bestimmung des Emanationsgehaltes von Flüssigkeiten. S. 768.
E. Marx, Die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen. S. 768.
A. Kalähne, Einige Eigenschaften der Strahlung des Chininsulfates. S. 778.
P. Weiß, Über den Ferromagnetismus der Kristalle. S. 779.
E. Lecher, Über Thermoelektrizität. S. 781.
R. Pictet, Zur Geschichte und Theorie der Verflüssigung der Luft. S. 785.
R. Pictet, Über industriellen Sauerstoff, seine Herstellung und Bedeutung. S. 787.
W. Voigt, Über die Wellenfläche zweiachsiger aktiver Kristalle und über ihre konische Refraktion. S. 787.
H. Rubens, Das Emissionsspektrum des Auerstrumpfs. S. 790.
E. Aschkinaß, Elektrooptische Eigenschaften der Kohle. S. 792.
S. Leduc, Die Diffusion der Flüssigkeiten. S. 793.
L. Grunmach, Versuche über die Diffusion von Kohlensäure durch Kautschuk. S. 795.
H. Gerdien, Demonstration eines Apparates zur absoluten Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Luft. S. 800.
O. Knoblauch, Über die spezifische Wärme des überhitzten Wasserdampfes für Drucke bis 8 Atm. und Temperaturen bis 350° C. S. 801.
R. Gans, Gravitation und Elektromagnetismus. S. 803.
M. Cantor, Das mechanische Äquivalent der Verbrennung und Konstruktion eines rationellen Verbrennungsmotors. S. 805.
W. Wien, Über Elektronen. S. 806.
A. Gutzmer, Bericht über die Tätigkeit der Unterrichtskommission. S. 807.
**Vorträge und Abhandlungen vom ersten internationalen Kongreß zum Studium der Radiologie und Ionisation zu Lüttich:**
A. Righi, Die Elektrisierung von Radiumstrahlen ausgesetzten Körpern. S. 815.
**Gesuche.** S. 816.

## 77. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Meran, vom 24. bis 30. September 1905.

Meran, die ehrwürdige alte Landeshauptstadt Tirols, war der Ort der diesjährigen Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. In überfüllten Zügen strömten in den Tagen vor der Naturforscher-Versammlung stattliche Scharen deutscher Ärzte und Naturforscher aus Deutschland hinüber über den Brenner, auf eine vom Wetter begünstigte Woche im sonnigen Süden hoffend, und auch aus allen Gauen Österreichs sammelten sich die Teilnehmer. Aber die Sonne hat nur recht wenig über die diesjährige Naturforscherversammlung ihre Strahlen ergossen; bedecktes Wetter und häufige Regengüsse waren an der Tagesordnung, doch gelang die einzige größere Veranstaltung im Freien, der Festabend mit Büfett auf der Promenade vor dem Kurhause, nebst Festillumination und Bergbeleuchtung über Erwarten gut, was neben der für diesen Abend verhältnismäßig sehr günstigen Witterung dem wirklich geschickten Arrangement des Ganzen zuzuschreiben ist.

Von den Gegenständen, welche auf den Tagesordnungen der allgemeinen Versammlungen und der Gesamtsitzung beider Hauptgruppen figurierten, ist von spezifisch physikalischem Interesse der Vortrag von:

W. Wien (Würzburg): „Über Elektronen."

Ebenfalls für den Physiker besonders interessant, aber der allgemeinen Bedeutung wegen für alle Teilnehmerkreise gleichmäßig wichtig, gestaltete sich der Vortrag von:

A. Gutzmer (Halle): „Bericht über die Tätigkeit der Unterrichtskommission."

Die Sitzungen der physikalischen Sektion waren durch äußere Umstände nicht sehr begünstigt und daran hatten auch die überaus eifrigen Bemühungen der Innsbrucker Herren Fachgenossen nichts ändern können. Der physikalische Hörsaal des Meraner k. k. Obergymnasiums ließ sich eben nicht zu einem mit allen Hilfsmitteln der Neuzeit ausgerüsteten Universitätshörsaal umschaffen. Nichtsdestoweniger waren die Sitzungen der physikalischen Sektion überaus reich an interessanten Vorträgen und der Besuch derselben ein äußerst reger. Es wurden in 5 Sektionssitzungen 30 Vorträge gehalten und zum Teil sehr eifrig diskutiert. Bei dem erfreulich starken Besuch der Sektion gestaltete sich naturgemäß auch der Meinungsaustausch außerhalb der Sitzungen zu einem äußerst regen und es wird gewiß jeder Teilnehmer mit einer Fülle von Anregungen von Meran abgereist sein und der Tage des Zusammenseins mit so zahlreichen Fachgenossen mit Genuß gedenken. Im einzelnen gestaltete sich die Tagesordnung der Sitzungen der physikalischen Sektion folgendermaßen.

1. Sektionssitzung, Montag, den 25. September, nachmittags 3 Uhr.

Henri Becquerel (Paris): „L'utilité de l'analyse du rayonnement des corps radioactifs, et les propriétés principales des rayons $\alpha$, $\beta$, $\gamma$."
E. Riecke (Göttingen): „Über die Elektromechanik des Galvanismus und der Wärme."
A. Waßmuth (Graz): „Über die Ermittelung der thermischen Änderungen des Elastizitätsmoduls aus den Temperaturänderungen bei der gleichförmigen Biegung von Metallstäben."

2. Sektionssitzung, Dienstag, den 26. September, morgens 9 Uhr.

W. Seitz (Würzburg): „Über eine neue Art sehr weicher Röntgenstrahlen."
P. Salcher (Fiume): „Das Zusammensetzen gleichzeitiger Bewegungen und zwei dazu dienende Apparate; Wurf- und Kreisbewegungsdiagraph."
H. W. Siedentopf (Jena): „Über Steinsalzfärbungen."
W. Gaede (Freiburg i. B.): „Demonstration einer rotierenden Quecksilberluftpumpe."
E. Warburg (Berlin): „Bemerkungen über die chemischen Wirkungen der stillen Entladung."
L. Holborn (Berlin): Über die spezifische Wärme des Wasserdampfes bis 800°."
K. Scheel (Berlin): „Über den Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei niedrigen Temperaturen."

Henning (Berlin): „Über das Emissionsvermögen einiger Metalle für sichtbare Wellenlängen."

3. Sektionssitzung, Dienstag, den 26. September, nachmittags 3 Uhr.

J. Stark (Göttingen): „Der Stand der Forschung über die Elektrizität in Gasen."
F. Streintz (Graz): „Über Metallstrahlen."
H. W. Schmidt (Gießen): „Eine einfache Methode zur Bestimmung des Emanationsgehaltes von Flüssigkeiten."
E. Marx (Leipzig): „Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen."
A. Kalähne (Heidelberg): „Einige Eigenschaften der Strahlung des Chininsulfates."

4. Sektionssitzung, Mittwoch, den 27. September, nachmittags 3 Uhr.

P. Weiß (Zürich): „Über den Ferromagnetismus der Kristalle."
E. Lecher (Prag): „Über Thermoelektrizität."
R. Pictet (Berlin): „Zur Geschichte und Theorie der Verflüssigung der Luft."
K. Th. Fischer (München): „Ein neues Magnetometer zur direkten Ermittelung von Feldstärken mittels Millivoltmeters."
E. Kobald (Leoben): „Über den Satz vom Minimum der Stromwärme für veränderliche Ströme."
R. Pictet (Berlin): „Über industriellen Sauerstoff, seine Herstellung und Bedeutung."

5. Sektionssitzung, Donnerstag, den 28. September, morgens 9 Uhr.

W. Voigt (Göttingen): „Über die Wellenfläche zweiachsiger aktiver Kristalle und über ihre konische Refraktion."
H. Rubens (Charlottenburg): „Das Emissionsspektrum des Auerstrumpfs".
E. Aschkinaß (Berlin): „Elektrooptische Eigenschaften der Kohle."
S. Leduc (Nantes): „Über die Diffusion der Flüssigkeiten."
L. Grunmach (Berlin): „Versuche über die Diffusion von Kohlensäure durch Kautschuk."
Heubner (München): „Das Gesetz von Poiseuille."
H. Gerdien (Göttingen): „Demonstration eines Apparates zur absoluten Messung der elektrischen Leitfähigkeit für Luft."
L. Knoblauch (München): „Über die spezifische Wärme des überhitzten Wasserdampfes."

Die Teilnahme an den Abteilungssitzungen war bis zuletzt eine sehr rege und trotz der oft recht unzweideutigen Ungunst der Witterung wird jeder Teilnehmer der Meraner Tagung der dort verlebten Tage gewiß gern und mit angenehmen Erinnerungen gedenken. Als Versammlungsort für das nächste Jahr wurde Stuttgart gewählt. E. Bose.

# VORTRÄGE UND DISKUSSIONEN VON DER 77. NATURFORSCHERVERSAMMLUNG ZU MERAN.

**E. Riecke (Göttingen), Über die Elektromechanik des Galvanismus und der Wärme.**[1])

Einer Aufforderung des wissenschaftlichen Ausschusses der deutschen physikalischen Gesellschaft folgend, berichtete Riecke (Göttingen) über eigene Arbeiten[2]), sowie über Arbeiten von Drude[3]) und von Lorentz[4]), deren gemeinsames Ziel in der Begründung einer elektromechanischen Theorie des Galvanismus und der Wärme besteht. Anknüpfend an die älteren Vorstellungen Wilhelm Webers entwickelte er zuerst die Grundlagen, welche seiner eigenen Theorie und der von Drude gemeinsam sind, sodann die zwischen den Grundannahmen bestehenden Verschiedenheiten. Die wichtigste davon bezieht sich auf den Wert $\alpha$, den die lebendige Kraft der bewegten elektrischen Teilchen bei der absoluten Temperatur 1 besitzt. Die Theorie von Riecke läßt die Frage, welchen Wert $\alpha$ für verschiedenartige Teilchen hat, unentschieden, Drude betrachtet $\alpha$ als eine universelle Konstante, deren Wert mit den Hilfsmitteln der kinetischen Gastheorie bestimmt werden kann.

Der Vortragende berichtete sodann über die Gesetze der Wärme- und der Elektrizitätsleitung in Metallen, sowie über die begleitenden Erscheinungen der Mitführung von Elektrizität und von Wärme. Zu einem Vergleiche mit der Erfahrung gibt die Berechnung des Verhältnisses zwischen Wärmeleitfähigkeit und elektrischem Leitvermögen Veranlassung. Der Wert, der aus der Theorie von Riecke folgt, verwandelt sich im wesentlichen in den von Drude gegebenen, wenn man in dem ersteren den Drudeschen universellen Wert von $\alpha$ einsetzt; nur in dem Zahlenfaktor des Ausdruckes bleibt eine Verschiedenheit bestehen. Den Beobachtungen nach hat jener Faktor im Mittel den Wert 1,41; die Theorie von Riecke ergibt $^3/_2$, die von Drude $^4/_3$, eine auf allgemeinerer Grundlage aufgebaute Theorie von Lorentz $^8/_9$. Keine Theorie steht in voller Übereinstimmung mit der Beobachtung.

Der Vortragende wandte sich weiter zu der Betrachtung der Erscheinungen im Magnetfelde. Er gibt an, weshalb auf diesem Gebiete weder seine eigene Theorie, noch die von Drude mit den Beobachtungen übereinstimmt, und deutet den Weg an, auf dem eine Verbesserung der Theorie zu erstreben ist. Unter gewissen Voraussetzungen ergibt sich dabei eine Beziehung zwischen den Koeffizienten der vier Effekte im Magnetfelde, die bei Wismut, Nickel und Kobalt wenigstens der Größenordnung nach zutrifft.

Einen weiteren Gegenstand des Berichtes bildete die Mitführungstheorie der thermoelektrischen Erscheinungen und die Theorie der kontaktelektromotorischen Wirkungen. Die aus den Theorien von Riecke, Drude und Lorentz sich ergebenden Gesetze für die Spannungsdifferenz an der Grenze zweier Metalle werden miteinander verglichen.

1) Autoreferat des Vortragenden.
2) Annalen der Physik 1898 und 1900.
3) Annalen der Physik 1900.
4) Abhandlungen der Akademie in Amsterdam 1904 und 1905.

Den Schluß des Vortrags bildete ein Bericht über eine Untersuchung von Lorentz, in der die Emission und die Absorption eines Metalles für den Fall langer Wellen berechnet und daraus das Plancksche Strahlungsgesetz abgeleitet wird, in der einfachen Form, die es im Falle langer Wellen annimmt.

(Eingegangen 28. September 1905.)

### Diskussion.

van Everdingen: Der Vortragende hat die Umstände erwähnt, weshalb die Theorie mit der Beobachtung nicht immer übereinstimmt. Ich möchte dazu noch auf einen Punkt aufmerksam machen. Die Elektronen bewegen sich im Metall nicht in einem homogenen elektrischen Felde, sondern erleiden Änderungen der potentiellen Energie, die größer sind, als die mittlere kinetische Energie. Ich habe dies zur Erklärung der Tatsache herangezogen, daß unter konsequenter Anwendung der der kinetischen Gastheorie entnommenen Betrachtungen auf die Theorie des Hall-Effektes dieser Effekt nicht mehr herauskommt. Es wäre gut, wenn man auch diesen Umstand in Betracht ziehen wollte.

Riecke: Ich bin damit vollkommen einverstanden, die Sache ist aber außerordentlich schwierig, sie ist schon sehr schwierig im konstanten elektrischen Feld, und würde noch schwieriger, wenn man auf diese Dinge Rücksicht nehmen wollte. Prinzipiell aber haben Sie vollkommen Recht.

Mie: Ihre Strahlungsformel hat nur eine Konstante; die Plancksche Formel hat aber doch zwei Konstante.

Riecke: Nein, für lange Wellen fällt die eine Konstante fort.

---

**A. Waßmuth (Graz), Über die Ermittlung der thermischen Änderungen des Elastizitätsmoduls aus den Temperaturänderungen bei der gleichförmigen Biegung von Metallstäben.**

Professor Waßmuth hat im Jahre 1902 auf die Möglichkeit hingewiesen, die thermischen Änderungen der Elastizitätskonstanten aus der von ihm beobachteten Abkühlung bei der Biegung und Torsion von Metallstäben zu ermitteln. So ist z. B. für die gleichförmige Biegung, solange sie innerhalb der Elastizitätsgrenzen bleibt, nach Voigts Formel (Boltzmann-Festschrift S. 560) die thermische Änderung $\varepsilon$ des Elastizitätsmoduls $E$ d. i. $\varepsilon = \frac{1}{E}\frac{dE}{dT}$ direkt proportional der Temperaturänderung $\tau$ bei der Biegung und es kommt nur darauf an, das allerdings sehr kleine $\tau$ mit einer gewissen Genauigkeit zu messen, um auch $\varepsilon$ mit derselben Genauigkeitsgrenze zu erhalten. Auf diese Art bestimmte Waßmuth 1903 für zwei Stahlsorten die Größe $\varepsilon$ zu $\varepsilon = 2,41 \times 10^{-4}$, welcher Wert mit den von Katzenelsohn ($2,33 \times 10^{-4}$) und Schaefer ($2,25 \times 10^{-4}$) nach ganz anderen Methoden erhaltenen Zahlen in guter Übereinstimmung steht. Dank der Unterstützung der k. Akademie in Wien wurde es Waßmuth ermöglicht, andere, chemisch reine Metalle, die zuvor durch oftmaliges Kochen und Abkühlen stets in den sogen. Normalzustand überführt worden waren, in gleicher Art, also bei gleichförmiger Biegung zu untersuchen und die Temperaturänderungen $\tau$ durch ein in der Stabmitte angebrachtes Thermoelement (Konstantan-Eisen) zu messen; der Vergleich des beobachteten $\tau$ mit dem nach Voigts Formel berechneten ließ den zugehörigen Wert von $\varepsilon$ erkennen. So lieferte z. B.

Kupfer ein $\varepsilon = 3,64 \times 10^{-4}$, während Schaefer: $\varepsilon = 3,627 \times 10^{-4}$ hat.

Es ward beobachtet:

0,000 960° 0,00 164° 0,00 220°

und mit $\varepsilon = 3,64 \times 10^{-4}$ berechnet:

0,000 920° 0,00 167° 0,00 227°

Ebenso ergab Gold ein $\varepsilon = 4,82 \times 10^{-4}$ und wurde

| | | | |
|---|---|---|---|
| beobachtet: | 0,000 665° | 0,00 140° | 0,00 259° |
| berechnet: | 0,000 652° | 0,00 145° | 0,00 254° |

Platin lieferte ein $\varepsilon = 0,978 \times 10^{-4}$

| | | |
|---|---|---|
| beobachtet: | 0,000 191° | 0,000 314° |
| berechnet: | 0,000 192 | 313 |

Silber bewirkte anfangs, offenbar infolge der elastischen Nachwirkung, eine aperiodische Bewegung der Galvanometernadel; dieselbe schwand, sobald als Thermoelement ein einzelner Eisendraht in der Mitte und ein seitwärts an den Silberstab angelöteter Silberstreifen gewählt wurden; für $\varepsilon$ fand sich dann im Mittel: $\varepsilon = 7,48 \times 10^{-4}$, während Schaefer $7,65 \times 10^{-4}$ hat.

Der Wert des $\varepsilon$ für das direkt nicht zu verwendende Zink wurde aus dem Verhalten genau bekannter Legierungen erschlossen und so für Zink nach der Mischungsregel $\varepsilon = 35 \times 10^{-4}$ gefunden. Es lieferten zwei genau analysierte Sorten von Achenrainer-Messingstäben:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sorte I | *Cu* 74,4% | beob.: | 0,00 144° | 0,00 219° |
| | *Zn* 25,7% | berech.: | 0,00 141° | 0,00 241° |
| „ II | *Cu* 67,2% | beob.: | 0,00 166° | 0,00 297° |
| | *Zn* 32,9% | berech.: | 0,00 177° | 0,00 302° |

Neben diesen speziellen Untersuchungen, welche die Anwendbarkeit der obigen Methode bekunden, erfolgte zugleich die Lösung einer ganz allgemeinen Frage. Nach Voigts Theorie sollte nämlich jeder Querschnitt des gleichförmig gebogenen Stabes — von den Enden abgesehen — die gleiche (mittlere) Temperaturänderung aufweisen. Dies ließ sich tatsächlich experimentell nachweisen. Zu dem Ende wurden an 4 verschiedenen Stellen eines

Stahlstabes Thermoelemente eingelötet und jedesmal die 4 Temperaturänderungen $\tau$ bei der gleichförmigen Biegung gemessen. So ergaben z. B. bei der geringsten Belastung (500 gr) diese 4 Stellen die nahe gleichen Werte: $\tau_1 = 0{,}00138^0$, $\tau_2 = 0{,}00139^0$, $\tau_3 = 0{,}00143^0$ und $\tau_4 = 0{,}00138^0$. (Mittel: $0{,}00140^0$). Die Abweichungen vom Mittel blieben auch bei viel stärkeren Belastungen (1000 und 1500 g) innerhalb der Beobachtungsfehler. Desgleichen ergaben sich nur sehr kleine Ausschläge, wenn 2 Thermoelemente entgegengesetzt geschaltet wurden. — In diesen Versuchen liegt ein Beitrag zur experimentellen Erhärtung der von W. Voigt (cf. e. g. Thermodynamik I, S. 314 und S. 360) so glücklich gegebenen Verallgemeinerung der thermodynamischen Potentiale elastischer Körper. — Ein eingehender Bericht über sämtliche Versuche soll in den Schriften der k. Akademie veröffentlicht werden.

### Diskussion.

Voigt: Ich möchte darauf hinweisen, daß das Interessante bei dieser Anordnung das ist, daß ein Querschnitt des Stabes nicht gleichförmig in allen seinen Teilen bei dieser Biegung erwärmt wird, sondern in jedem Querschnitt herrscht verschiedene Temperatur. Aber es stellt sich ganz momentan ein mittlerer Zustand her, auf welchen die Formel gemünzt ist. Und weiter möchte ich fragen, welchen Nutzen hat das kleine Blech beim Silber, infolgedessen die Nadel schnell zum Stillstand kommen soll.

Waßmuth: Was nun den ersten Hinweis betrifft, so habe ich im Anfange wiederholt den Einwand gehört, die untere Faser werde verkürzt, die obere gedehnt; rechnen Sie das durch, so gibt die Verkürzung Erwärmung, die Ausdehnung Abkühlung, die mittlere Temperaturänderung scheint also scheinbar Null zu sein. Wenn man aber die Rechnung strenge durchführt, so sieht man, daß man auf höhere Glieder Rücksicht nehmen muß, wo sich dann Voigts Formel ergibt. — Bringt man beim Silber ein dünnes Silberblech einige Zentimeter seitwärts von der Mitte an und verbindet dieses Blech und den dünnen Eisendraht in der Mitte mit dem Galvanometer, so ist nun die Bewegung der Galvanometernadel nicht mehr aperiodisch, sondern periodisch. Die eigentliche Ursache dieser Erscheinungen, bisher unauffindbar, mag wohl mit der elastischen Nachwirkung zusammenhängen.

---

**W. Seitz (Würzburg), Über eine neue Art sehr weicher Röntgenstrahlen.**

Wenn man in einer Röntgenröhre das Vakuum fortgesetzt verschlechtert, oder, wie man sagt, die Röhre weicher macht, so sinkt dementsprechend die Kathodenspannung und gleichzeitig nimmt von einem bestimmten Punkte an die Intensität der Röntgenstrahlen ab, bis bei etwa 30000 Volt sowohl der Fluoreszenzschirm als auch die photographische Platte kaum noch merklich reagieren.

Für diese Tatsache kann man zweierlei Erklärung geben.

Erstens: es lehrt die Elektronentheorie, daß die Energie der *R*-Strahlen mit Abnehmen der Geschwindigkeit der erzeugenden Elektronen sich sehr schnell vermindert. Es wäre also denkbar, daß die Wucht der Kathodenstrahlenteilchen bei etwa 30000 Volt nicht mehr hinreicht, um Ätherimpulse von deutlicher Wirkung hervorzubringen.

Zweitens, wir wissen: das Durchdringungsvermögen der *R*-Strahlen ist desto kleiner, je weicher die Röhre ist. Jenes Erlöschen der Strahlung kann also auch davon herrühren, daß zwar an der Antikathode nach wie vor Strahlen entstehen, daß sie aber die Glaswand der Röhre nicht mehr zu durchdringen vermögen.

Von dieser letzteren Annahme ausgehend, habe ich untersucht, bis zu welchen Spannungen noch *R*-Strahlen nachzuweisen sind, wenn an einer Stelle der Röhrenwand ein möglichst dünnes Aluminiumfensterchen eingesetzt wird, und ich erhielt auf diese Weise noch deutlich Strahlen bei relativ sehr kleinen Entladungsspannungen, nämlich bis zu 600 Volt herab; ja man könnte wohl sogar noch etwas weiter gelangen.

Die benutzten Röntgenröhren entsprachen im übrigen den sonst gebräuchlichen, nur daß die Dimensionen viel kleiner gewählt wurden, damit die Kathodenstrahlen bei den geringen Spannungen noch die Antikathode erreichen. Der Durchmesser des kugelförmigen Gefäßes betrug zwischen 5 cm und 7 cm. In der Richtung der spiegelnden Reflexion zur Oberfläche der Antikathode war auf einem kurzen Rohransatz eine Messingkappe mit dem Aluminiumfenster aufgekittet. Dieses bestand je nachdem aus einem einzigen, mit Aluminium bedeckten, etwa 4 qmm großen Loch oder aus einem Gitterwerk solcher Löcher, wobei dann die Folie etwas stärker gewählt werden mußte, um lochfreie Stücke zu erhalten. Als Stromquelle diente im allgemeinen eine Schuckertsche Hochspannungsgleichstrommaschine, welche bis zu 4000 Volt liefert, nur in einzelnen Fällen eine 20plattige Influenzmaschine oder ein Induktorium. Die Spannung wurde mit Hilfe von statischen Voltmetern oder durch eine Funkenstrecke bestimmt.

Für die Beobachtung resp. Messung der Strahlen stehen mehrere Reagenzien zu Gebote. Als am empfindlichsten bei geringer Strahlenintensität erwies sich die photographische Platte,

weniger empfindlich der Platincyanürschirm, dessen Leuchten nur in gut verdunkeltem Zimmer wahrnehmbar ist. Zu relativen Intensitätsmessungen dagegen kann man die Entladung eines Elektroskops in der bekannten Weise benutzen.

Es wurden, wie gesagt, vor allem Untersuchungen angestellt, bis zu welchen Spannungen Strahlen mit den photographischen Platten nachgewiesen werden können. Die Platte befand sich direkt hinter dem Fenster in einer licht- und luftdicht aufgekitteten Dose, welche zugleich mit der Röhre evakuiert wurde, da die weichsten Strahlen durch Luft stark absorbiert oder diffus zerstreut werden.

Solange überhaupt das negative Glimmlicht die Antikathode erreicht, dringen *R*-Strahlen durch das Fenster hindurch. Wenn man den Abstand zwischen Kathode und Antikathode noch weiter verkleinern würde, also unter 3 cm, so würde auch bei 500—600 Volt die Wirkung noch nicht erlöschen. Dagegen sendet das Glimmlicht selbst keine merklichen Strahlen aus, wenigstens nicht solche, welche das Aluminiumfenster zu durchdringen vermögen. Dies geht aus Versuchen hervor, welche ich mit einer Röhre ohne Antikathode anstellte. Selbst bei einer Exposition von $1\frac{1}{2}$ Stunden ergab sich keine deutliche Schwärzung der Platte.

Was nun die Eigenschaften der durch niedere Spannungen hervorgebrachten *R*-Strahlen betrifft, so stimmen sie in qualitativer Beziehung mit den *R*-Strahlen höherer Spannung überein. Außer der Fluoreszenzerregung des Platincyanürs wurde z. B. auch die des Flußspats beobachtet.

Die photographische Wirkung ist, wie gesagt, sehr kräftig, was sich daraus erklärt, daß die Strahlen von der lichtempfindlichen Schicht zum größten Teil absorbiert und dementsprechend ziemlich vollständig ausgenützt werden, während die Strahlen der sonst gebräuchlichen Spannungen nur zu ganz geringem Prozentsatz zurückgehalten werden. Zu den chemischen Wirkungen zu zählen ist auch ihr Einfluß auf Bakterien. Hierüber habe ich Untersuchungen gemeinsam mit dem Bakteriologen Hrn. Dr. Jorns angestellt. In einigen Fällen, und zwar bei Typhusbazillen, konnte nach einer Bestrahlung von $\frac{1}{2}$ Stunde eine deutliche Zerstörung oder wenigstens Hemmung des Wachstums der Kulturen wahrgenommen werden. Bei diesen Versuchen wurde in der bekannten Weise verfahren. Wegen des äußerst geringen Durchdringungsvermögens der Strahlen durften die Gelatine- oder Agarschichten nur ganz oberflächlich mit den Reinkulturen geimpft werden. Bei der Bestrahlung befanden sich die so behandelten Platten dicht vor dem Aluminiumfenster; nachher wurden sie zur Weiterentwicklung in den Wärmeschrank gebracht. Während sich die ganze übrige Oberfläche durch das Wachstum der Kulturen trübte, blieben die von den Strahlen getroffenen Stellen klar, so daß man das Abbild des Gitters, welches das Fenster trägt, erhielt. Wenn häufig ein Erfolg ausblieb, so erklärt sich das vielleicht daraus, daß die Bakterien in das Agar oder die Gelatine bis zu so tiefgelegenen Schichten eingedrungen waren, welche die Strahlen nicht erreichten. Große Hoffnungen auf Heilwirkungen, welche man auf diese Weise erzielen könnte, darf man wohl nicht hegen.

Am interessantesten ist das Verhalten der Strahlen in Beziehung auf ihr Durchdringungsvermögen. Die Intensität der aus dem Fenster kommenden Strahlen, resp. nachdem sie irgendeine weitere absorbierbare Schicht passiert hatten, wurde in der bekannten Weise durch die Entladung eines Kondensators, der mit einem Elektroskop verbunden war, bestimmt. Die Ergebnisse dieser Messungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Ein Aluminiumblättchen von 0,00075 cm Dicke absorbiert zwischen 1500 und 6000 Volt etwas mehr als die Hälfte der Strahlen. Der Absorptionskoeffizient variiert in dem genannten Intervall kaum merklich mit der Spannung; erst bei höherem Entladungspotential nimmt er allmählich ab; doch absorbiert dasselbe Blättchen selbst bei 20000 Volt immer noch etwa 40%, während es für die gewöhnlichen Strahlen von 50000 bis 60000 Volt nahezu vollständig durchlässig ist. Das bekannte Absorptionsgesetz $J = J_0 e^{-ad}$ gilt für diese weichen Strahlen im Gegensatz zu den sonst gebräuchlichen mit voller Strenge; ein zweites Blättchen von gleicher Dicke auf das erste gelegt, wird also die Intensität um genau denselben Prozentsatz herabmindern wie das erste u. s. f. Es bestätigte sich dies, als nacheinander 1—6 Blättchen gleicher Dicke vor das Fenster gebracht wurden. Aber man kann daraus noch nicht auf vollständige Homogenität der Strahlen schließen, weil eben der Absorptionskoeffizient in einem sehr großen Intervall nahezu unabhängig vom Entladungspotential ist.

Was nun das Absorptionsvermögen verschiedener Substanzen anbelangt, wobei natürlich die Auswahl der Substanzen, welche als dünne Schichten zu erhalten sind, nicht groß ist, so schließen sich meine Beobachtungen denen, welche Benoist und später Holtsmark mit härteren Strahlen angestellt haben, gut an. Es absorbiert z. B. ein Silberblättchen von 0,00002 cm Dicke etwa die Hälfte. Der Unterschied zwischen Absorptionsvermögen von Aluminium und Silber ist demnach hier etwas geringer als bei härteren Strahlen. Das Suchen nach

einer Substanz, welche in ganz hervorragender Weise durchsichtig oder undurchsichtig wäre, dürfte auch bei diesen Strahlen vergeblich sein.

Aus allem geht hervor, daß die Eigenschaften der mit niederen Spannungen erzeugten Röntgenstrahlen sich wohl in quantitativer Beziehung, nicht aber in qualitativer von denen der bisher bekannten unterscheiden.

Irgendwelche Annäherung an das Verhalten der ultravioletten Lichtstrahlen tritt in keiner Weise hervor.

(Eingegangen 27. September 1905.)

Diskussion.

Marx: Ich möchte mir die Frage erlauben, ob Sie versucht haben, festzustellen, ob die Strahlen ablenkbar sind. Sie haben das gewiß versucht, aber Sie haben nichts darüber gesagt. Man könnte doch auch daran denken, daß die austretenden Strahlen etwa Kathodenstrahlen sind. Es ist vielleicht die Möglichkeit vorhanden, daß durch die auftreffenden Kathodenstrahlen aus dem Fenster Kathodenstrahlen ausgetrieben werden.

Seitz: Es ist das nicht wahrscheinlich, es müßten ja Kathodenstrahlen von sehr hoher Spannung, also sehr hoher Geschwindigkeit sein. Aber um sicher zu sein, habe ich die magnetische Ablenkbarkeit mit einem einfachen Stahlmagneten untersucht. Die Strahlen werden nicht magnetisch abgelenkt. Mit einem großen Elektromagneten habe ich allerdings nicht gearbeitet; aber das dürfte wohl auch nicht nötig sein.

Warburg: Es ist ja klar, daß Lenard die Strahlen, die Sie untersucht haben, auch gehabt hat. Es war ein Gemisch von Röntgen- und Kathodenstrahlen, das er gehabt hat. Sollte es nicht nötig sein, aus diesem Grunde die Versuche zu revidieren? Allerdings hat Lenard keine Antikathode gehabt, das ist der Unterschied. Aber das Aluminiumfenster haben die Strahlen bei ihm auch getroffen.

Seitz: Ja, wenn Strahlen das Aluminiumfenster treffen, wirkt dies auch als Antikathode und sendet nach rückwärts Strahlen aus.

Warburg: Ich will noch bemerken, daß Dr. Aschkinaß bei Wiederholung des Lenardschen Versuchs die Strahlen durch einen Magneten ablenkte, wobei ein Fleck blieb, der nicht ablenkbar war. Es tut mir leid, daß Herr Aschkinaß nicht hier ist; wenn er den Vortrag gehört hätte, würde er wohl diese Tatsache angegeben haben.

**P. Salcher (Fiume), Das Zusammensetzen gleichzeitiger Bewegungen und zwei dazu dienende Apparate: Wurf- und Kreisbewegungsdiagraph.**

Mit dem Fundamentalsatz für das Zusammensetzen gleichzeitiger Bewegungen steht es so wie mit dem Fundamentalsatz unserer Geometrie, dem Euklidschen Parallelenaxiom. Beide lassen sich nicht streng beweisen. Um so wichtiger ist die Bewahrheitung dieser Sätze durch den Versuch.

Dazu dient eine solche lose Verbindung gerader Stäbe oder Schienen, daß vier Rhomben entstehen, deren vier äußerste Ecken ein Parallelogramm bilden, wie immer man das Ganze stellen mag. Der einfache Apparat gibt innerhalb seiner Konstruktionsgrenzen alle möglichen Parallelogramme, verschieden in den Winkeln und Seiten. In seiner Einfachheit und Universalität liegt seine Verwendbarkeit.

Im „Wurfdiagraphen" dient er zur präzisen graphischen Vorführung aller Eigenschaften des schiefen Wurfes. Die Konstruktion dieses Apparates war vom Gedanken geleitet, den schiefen Wurf verlangsamt darzustellen, ohne jede Änderung der Gesetzmäßigkeit, wie auf diesem Prinzip die Galileische Fallrinne und Atwoods Fallmaschine beruhen.

Im „Kreisbewegungsdiagraphen" dient der gleiche Grundbestandteil zur geradezu spielend einfachen und schnellen, aber doch präzisen Aufzeichnung der Resultierenden zweier Kreisbewegungen unter allen möglichen Umständen. Es entstehen da unter anderen Kurven alle Fälle der Epi- und Hypozykloiden sowie auch der Rollkurven, wenn mit dem Rollen gleichzeitig ein Gleiten stattfindet. Ferner läßt sich beispielsweise zeigen, daß die resultierende Bahn zweier nahezu gleich schnellen, entgegengesetzten Kreisbewegungen eine schmale Schleife ist, die ihre Lage um einen Winkel ändert, der halb so groß ist als der Phasendifferenzwinkel der komponenten Bewegungen. Dieser Fall ist das mechanische Analogon zur Erklärung der Drehung der Lichtpolarisationsebene im magnetischen Felde aus zwei zirkularpolarisierten Strahlen.

Um den Kreisbewegungsdiagraph auch zur Konstruktion der Resultierenden zweier einfachen linearen Schwingungen zu benutzen, ist zu jeder Kreisbewegungsvorrichtung eine Geradführung eingerichtet. Man erhält wieder sehr einfach und genau die Lissajouschen Kurven usw.

(Eingegangen 11. Oktober 1905.)

**W. Gaede (Freiburg i. Br.), Demonstration einer rotierenden Quecksilberluftpumpe.**

Die neue, von mir konstruierte rotierende Vakuumpumpe besteht aus diesem mit Hand

griff und Fuß versehenen gußeisernen Gehäuse, das hier vorn durch eine leicht abnehmbare, 2 cm dicke Glasplatte mittels Quecksilberdichtung luftdicht geschlossen ist. Wie man durch die Glasplatte sieht, ist das Gehäuse zum Teil mit Quecksilber gefüllt und in diesem Quecksilberbad rotiert eine solche Porzellantrommel. (Eine Porzellantrommel wird herumgegeben.) Die Pumpe arbeitet ohne Hahn und Ventil und dient dazu, ein mittels Wasserstrahlpumpe oder Stiefelluftpumpe leicht erzielbares Vakuum von 10 bis 20 mm in kürzester Zeit bis zu den höchsten Verdünnungsgraden zu steigern. Fig. 1 gibt

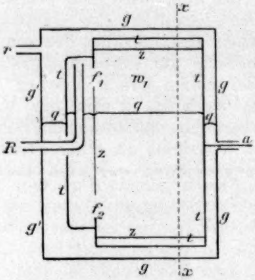



Fig. 1.

einen Querschnitt durch die Pumpe. $g$ ist das Gehäuse, $g'$ die 2 cm dicke Glasplatte, $t$ die Trommel, welche durch die luftdicht gelagerte Achse $a$ von außen her gedreht werden kann, $z$ die Zwischenwände der Trommel, $q$ die Quecksilberoberfläche, $R$ ein Rohr, das mit dem auszupumpenden Rezipienten verbunden ist und $r$ ein mit der Wasserstrahlpumpe zu verbindendes Rohr. Mit der Wasserstrahlpumpe wird vorgepumpt, wobei das Quecksilber außerhalb der Trommel höher steht als innen. Ist das Wasserstrahlvakuum erreicht, so wird einfach durch langsames Drehen der Trommel mit der Hand oder mit einem kleinen Laboratoriumsmotor das Vakuum im Rezipienten erhöht, wobei das Quecksilber innerhalb der Trommel höher zu stehen kommt als außerhalb. Die Fähigkeit der Trommel, infolge der Drehung zu pumpen, beruht darauf, daß die durch Zwischenwände unterteilte Trommel über der Quecksilberoberfläche nach Art der Taucherglocke Räume abschließt, deren Volumina sich durch Drehen der Trommel ändern. Die Räume mit wachsendem Volumen kommunizieren mit dem Rezipienten und füllen sich mit dem Gase desselben. So saugt beispielsweise in Fig 1 der sich vergrößernde Raum $w_1$ durch die Öffnung $f_1$ und das Rohr $R$ Luft aus dem Rezipienten an. Die Räume mit kleiner werdendem Volumen sind vom Rezipienten abgeschlossen und geben ihren Gasinhalt, mit dem Vorvakuum kommunizierend, an dieses ab. Um diesen Zweck zu erreichen, ist für die Anordnung der Zwischenwände naturgemäß ein großer Spielraum vorhanden. Speziell bei dieser Pumpe habe ich die Zwischenwände so angeordnet, wie aus Fig. 2 zu ersehen ist. Hier sind die Apparatteile gezeichnet, welche durch eine in der punktiert gezeichneten Linie $xx$ zur Fig. 1 errichteten Normalebene getroffen werden. $g$ ist das Gehäuse, $q$ der Quecksilberspiegel, $tz$ und $m$ die Trommelwände. Wie man sieht, sperren die Wände $m_1$ und $z_1$ über dem Quecksilberspiegel einen Raum $w_1$ ab, der bei Drehung der Trommel in der Pfeilrichtung sich

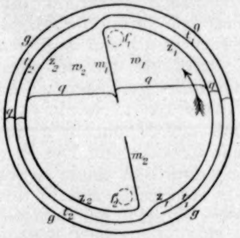



Fig. 2.

vergrößert und somit durch die nicht in der Zeichenebene liegende Öffnung $f_1$ Gas aus dem Rezipienten ansaugt. Kommt durch Drehen der Trommel die Öffnung $f$ unter die Quecksilberoberfläche, so haben wir die Verhältnisse wie in der linken Trommelhälfte. Das Gas im Raum $w_2$ ist vom Rezipienten abgeschlossen und wird durch die als Kolben wirkende Quecksilberoberfläche aus dem Raume $w_2$ unter Kompression in den Raum zwischen den Wänden $z_1$ und $t_1$ gedrängt und von hier aus bei fortgesetzter Drehung in das Vorvakuum abgegeben. Der Vorteil, den diese Anordnung der Wände bietet, besteht einmal darin, daß der Weg, den das Quecksilber beim Drehen der Trommel zurücklegt, relativ klein ist, und daß somit selbst bei schnellem Drehen der Trommel das Quecksilber nie so große Geschwindigkeiten erhält, daß diese dem Apparat gefährlich werden könnten. Ferner ist verhütet, daß Gas aus dem Vorvakuum in das hohe Vakuum verschleppt wird. Denn diejenigen Trommelwände, welche mit dem hohen Vakuum in Verbindung zu stehen kommen, werden nie vom Gas des Vorvakuums bespült, und vor allem bleibt der größte Teil der als Kolben wirkenden Quecksilbermasse stets innerhalb der Trommel, kommt also nicht mit dem Gase des Vorvakuums in Berührung. Es ist von Interesse, sich zu überlegen, daß die Pumpe auch arbeitet, wenn wir die Wände $t_1$ und $t_2$ fortlassen und

nur die Wände $m_1$, $m_2$, $z_1$ und $z_2$ verwenden, und ebenso wenn wir $m_1$ und $m_2$ fortlassen und nur die Wände $z_1$, $z_2$, $t_1$ und $t_2$ verwenden. Allerdings besitzen diese Pumpen nicht die für die Anordnung Fig. 2 erwähnten Vorteile. So kommt man z. B. mit dem zuletzt erwähnten Modell selbst bei langsamem Drehen nicht unter 0,002 mm Druck, indem Gas aus dem Vorvakuum in das hohe Vakuum verschleppt wird. Nebenbei möchte ich noch bemerken, daß diese beiden Modelle auch umgekehrt als Motoren bei Atmosphärendruck laufen, d. h. zugleich Gasuhren sind, während die Anordnung Fig. 2 wegen der auftretenden Gaskompressionen nicht als Gasuhr verwendbar ist.

Zur Prüfung der Pumpe evakuierte ich einen Raum von $6\frac{1}{4}$ Liter, während die Trommel etwa 20 Umdrehungen in der Minute machte. Bei einem Druck von 9 mm beginnend war der Partialdruck der Luft, der mit einem 300 ccm fassenden Mac Leod gemessen wurde, in 5 min 0,03 mm, in 10 min 0,0018 mm, in 15 min 0,00023 mm, in 20 min 0,0001 mm, in 25 min 0,00007 mm, in 30 min 0,00007 mm. Der Druck näherte sich somit asymptotisch einem Grenzwert. Die Pumpe wurde abgestellt, und in den nächsten 5 min stieg der Druck, möglicherweise durch Abgabe der Gase von den Gefäßwänden, wieder auf 0,00017 mm. Zum Vergleich sei erwähnt, daß eine Sprengel-Kahlbaumsche Pumpe im allergünstigsten Fall ein $5\frac{1}{2}$ Liter fassendes Gefäß bei einem Druck von 11 mm beginnend in 30 min auf 0,3 mm evakuierte. Ich verdanke diese Angabe der Mitteilung des Herrn Kramer-Freiburg i. B., des Lieferanten der Sprengel-Kahlbaumschen Pumpen. Diese Zahlen zeigen, daß meine Pumpe trotz ihrer geringen Größe im Vergleich zu den bisher gebräuchlichen Quecksilberpumpen außerordentlich rasch pumpt, schätzungsweise 10 mal so rasch. Die Geschwindigkeit des Pumpens ist so groß, daß die Reibung der Gase in den Leitungsröhren sehr zu berücksichtigen ist und es sich empfiehlt, den Querschnitt derselben im großen und ganzen nicht unter 1 qcm zu nehmen. Der prinzipielle Vorzug meiner Pumpe vor den ebenfalls schnell wirkenden Ölluftpumpen liegt in der niedrigen Spannkraft des Quecksilberdampfes bei Zimmertemperatur. Infolgedessen lassen sich mit meiner Pumpe bedeutend höhere Vakua erzielen als mit den Ölluftpumpen. Um bei noch niedriger Spannkraft des Quecksilberdampfes arbeiten zu können, wird die ganze Pumpe in ein mit Eis oder einer Kältemischung gefülltes Blechgefäß gestellt, und durch eine besondere Dichtungsvorrichtung an der Pumpe ist erreicht, daß nur die Antriebswelle außerhalb des Gefäßes liegt. Nach H. Hertz sinkt dadurch der Dampfdruck unter 0,0002 mm. Um die Wirkung der Pumpe zu demonstrieren, habe ich hier eine ca. $\frac{3}{4}$ Liter fassende elektrische Röhre an die Pumpe angesetzt. Wenn man die von den Elektroden absorbierten Gase durch etwa 15 min langes Durchschicken elektrischer Entladungen zum Teil ausgetrieben hat und darauf wieder Luft in die Röhre einläßt, so ist man imstande, durch Drehen der Pumpe, während kräftige elektrische Entladungen die Röhre durchsetzen, die mit fortschreitender Verdünnung auftretenden Entladungsformen von der Glimmentladung, Schichtung, Kathodenstrahlen, Röntgenstrahlen bis zur Undurchlässigkeit infolge des hohen Vakuums in 1 bis 2 min zu demonstrieren. Da ich keine Gelegenheit hatte, die Elektroden genügend gasfrei zu machen, wird der Versuch länger dauern. Demonstration: die elektrische Röhre wird mit einem Induktorium, das von der Firma Boas freundlichst zur Verfügung gestellt ist, betrieben. Bei einem Druck von ca. 5 mm beginnend ist nach ca. 3 min das Vakuum so weit vorgeschritten, daß infolge des hohen Widerstandes des Vakuums an einer Stelle zwischen den Zuleitungsdrähten ca. 4 cm lange Funken überspringen.

(Eingegangen 16. Oktober 1905.)

## Diskussion.

Rubens: Ich möchte mir nur die eine Frage erlauben: Was kostet die Pumpe?

Gaede: Ich habe mich noch mit niemandem in Verbindung gesetzt. Ich würde sie natürlich, wenn sie jemand haben wollte, so billig wie möglich an Institute liefern, ich denke ohne Quecksilber 200 Mark.

N. N.: Wieviel Quecksilber braucht die Pumpe.

Gaede: Diese Pumpe hier braucht 2 Liter Quecksilber.

Wien: Ich habe das äußerste Vakuum mit der Kaufmannschen Pumpe nicht erreicht.

Warburg: Die Kaufmannsche Pumpe braucht sehr wenig Quecksilber.

Wien: Und sie pumpt sehr rasch; aber das äußerste Vakuum habe ich nicht erreicht.

Fischer: Wie groß ist das Volumen einer Kammer?

Gaede: 200 bis 300 ccm eine Kammer. Diese Trommel hat drei Kammern.

Rubens: Wer macht denn diese Porzellankammern? Die sind ja ein Wunderwerk von Porzellanarbeit.

Gaede: Die macht die königliche Porzellanmanufaktur in Berlin.

Warburg: Was kostet die Kaufmannsche Pumpe?

Wien: Die Kaufmannsche Pumpe kostet 300 Mark.

**J. Stark (Göttingen), Der Stand der Forschung über die Elektrizität in Gasen.**[1])

I. Unselbständige Strömung in Gasen.

In Metallen, Elektrolyten und Flammengasen ist elektrische Leitfähigkeit ohne äußere Einwirkung vorhanden. Durch Röntgenstrahlen kann ein an sich nichtleitendes Gas leitend gemacht werden. Den Grund der elektrischen Leitfähigkeit sehen wir in der Gegenwart frei beweglicher Ionen. Die Erzeugung elektrischer Leitfähigkeit nennen wir daher Ionisierung, den dabei wirksamen Faktor, hier die Röntgenstrahlen, Ionisator. Außer den Röntgenstrahlen wurden noch andere Ionisatoren gefunden. Auch der chemische Prozeß in der Flamme ist ein Ionisator. Diejenigen elektrischen Strömungen in Gasen, welche ihre Ionen ausschließlich sekundären Ionisatoren verdanken, welche darum nur so lange bestehen, als die sekundären Ionisatoren wirksam sind, nennen wir unselbständig.

Die Beobachtung des Sättigungsstromes war neben der Entdeckung neuer Ionisatoren wichtig für die Entwicklung der heutigen Theorie. Bei schwacher Ionisierung wächst die Stromstärke nicht dauernd proportional der E.M.K.; sie nimmt erst langsamer zu und nähert sich dann einem konstanten Grenzwert. Die Theorie, welche J. J. Thomson für diese Erscheinung entwickelt hat, und welche heute fast allgemein angenommen ist, stützt sich auf folgende Voraussetzungen:

1. Die atomistische Hypothese der Elektrizität nimmt an, daß die Elektrizität in einzelnen diskreten positiven und negativen Elementarquanten auftritt. Die Ionen sind darnach frei bewegliche Elementarquanta; ihre geordnete Bewegung ist die elektrische Strömung.

2. Die Bewegung der Ionen folgt dem Ohmschen Gesetz; die Ionen erfahren im elektrisch neutralen Medium einen so großen Widerstand, daß im Durchschnitt ihre Beschleunigung gleich Null, ihre Geschwindigkeit in einem Punkte der Strombahn proportional und parallel der hier wirkenden Kraft gesetzt werden darf. Die Ionengeschwindigkeit im elektrischen Einheitsfelde nennen wir daher „spezifische Geschwindigkeit" oder „Beweglichkeit".

3. Im stationären Zustande besteht in einem elektrisch durchströmten Gase dynamisches Gleichgewicht zwischen Ionisierung (d. h. Entstehen neuer Ionen aus neutralen Teilchen), Wiedervereinigung von Ionen zu neutralen Teilchen, und Transport von Ionen durch die Strömung. Genau genommen treten noch hinzu: Diffusion der Ionen und Absorption derselben an den umgebenden Wänden.

Die Forschung wendet sich nun in erster Linie der experimentellen Prüfung der Ionentheorie zu. Townsend, J. J. Thomson und H. A. Wilson ermittelten den Wert des elektrischen Elementarquantums $q$. Dasselbe kann bis auf wenige Prozent genau zu $3,1 \times 10^{-10}$ elstat. Einheit angenommen werden. Thomson und seine Mitarbeiter bestimmten ferner die spezifischen Geschwindigkeiten $v_p$ und $v_n$ der Ionen und den Wiedervereinigungskoeffizienten $\alpha$.

Genaue Messungen von Elektrodenspannung und Stromstärke in ionisierter Luft haben ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit der von Riecke und Mie weiter ausgebauten Theorie ergeben. Die experimentelle und theoretische Forschung über die unselbständige Strömung ist damit zu einem vorläufigen Abschluß gelangt. Ungelöst sind aber noch wichtige Fragen, welche die Natur der Ionen in der unselbständigen Strömung betreffen, wie die Frage nach der Gestalt der Funktion, welche den Wiedervereinigungskoeffizienten mit dem Gasdruck verbindet, nach seiner Abhängigkeit von der Temperatur, nach der Valenzzahl der Gasionen, nach ihrer Masse. Hierhin gehört auch die Frage, wie die Umbildung von Elektronionen und Atomionen in schwer bewegliche Ionen vor sich gehe.

II. Elektrische Strahlen.

In Deutschland stand einer allgemeinen Anerkennung der Korpuskulartheorie der Kathodenstrahlen zunächst die Autorität eines Heinrich Hertz entgegen. Nach den verdienstvollen Arbeiten von Wiechert und Thomson erscheint es uns nunmehr in der Emissionstheorie der elektrischen Strahlen selbstverständlich, daß eine geordnete Bewegung oder Strömung elektrischer Teilchen möglich ist, die nicht dem Ohmschen Gesetz folgt, bei der also Beschleunigungen auftreten, bei der somit die Geschwindigkeit nicht mehr proportional ist der örtlichen Kraft, sondern der Quadratwurzel der frei durchlaufenen Spannungsdifferenz. Schwerer fand die Konsequenz der Emissionstheorie der Kathodenstrahlen Anerkennung, wonach das Kathodenstrahlteilchen eine Geschwindigkeit ähnlich der des Lichtes besitzen könne.

Nach den ersten Erfolgen der Elektronentheorie wandte sich das Hauptinteresse der Bestimmung der spezifischen Ladung $\varepsilon/\mu$ und der Masse des Elektrons zu. Thomson fand, daß die negativen Teilchen, welche eine belichtete Zinkplatte aussendet, einerseits im Vakuum die spezifische Ladung der Kathodenstrahlen besitzen, andererseits in atmosphärischer

1) (Nach dem Originalmanuskript referiert von Max Iklé.) Erscheint ausführlich im Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik.

Luft das Elementarquantum elektrischer Ladung. Thomson folgerte, daß die Ladung des Kathodenstrahlteilchens gleich dem elektrischen Elementarquantum sei, eine Ansicht, die heute kaum noch einem Zweifel begegnet.

Nach Erledigung dieser Frage nach der Ladung des Kathodenstrahlteilchens, des Elektrons, wie man es heute nennt, wandte man sich der Interpretation seiner Masse zu. Es lag der Gedanke nahe, daß die magnetische Feldenergie des Elektrons ganz oder teilweise mit seiner kinetischen Energie identisch, daß also sein Beschleunigungskoeffizient oder seine Masse elektromagnetischer Natur sei. Dann muß eine Deformation der Konfiguration der Kraftlinien eine Änderung der Masse des Elektrons bedingen. Eine solche Deformation ist bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit zu erwarten. Die Messungen Kaufmanns an den schnellen Kathodenstrahlen des Radiums haben auch tatsächlich eine Zunahme der spezifischen Ladung bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit ergeben.

Es folgten nun zahlreiche theoretische Untersuchungen über das Verhalten des Elektrons bei Nahelichtgeschwindigkeit oder Überlichtgeschwindigkeit, die notgedrungen auf eine Hypothese über die Konfiguration des elektrischen Feldes des Elektrons gestützt sind.

Die Kathodenstrahlforschung ist somit zu einem vorläufigen Abschluß gediehen, wenngleich ein weiterer Ausbau auch hier wünschenswert erscheint. Es bestehen noch Meinungsverschiedenheiten unter den einzelnen Forschern hinsichtlich der Reflexion und Zerstreuung der Kathodenstrahlen. Auch der Wert der spezifischen Ladung langsamer Kathodenstrahlen ist noch nicht genau festgestellt. Der Kaufmann-Simonsche Wert ($\varepsilon/\mu = 1{,}865 \cdot 10^7$ m. E.) scheint nach neueren Forschungen zu groß zu sein.

Weit weniger vorgeschritten ist die Erforschung der positiven Strahlen, der von Goldstein entdeckten Kanalstrahlen. Sieht man von den Untersuchungen über die $\alpha$-Strahlen des Radiums ab, so liegen über die spezifische Ladung der Kanalstrahlen nur die Messungen W. Wiens vor. Wien fand erstens, daß die spezifische Ladung der Kanalstrahlen viel kleiner ist als die des negativen Elektrons, nämlich von der Größenordnung des elektrolytischen Wasserstoffions; zweitens, daß, im Gegensatz zu den Kathodenstrahlen, die spezifische Ladung der Kanalstrahlen mit der Natur des Gases variiert, in dem sie erzeugt werden. Setzt man nun als selbstverständlich voraus, daß auch die Ladung des Kanalstrahlenteilchens gleich dem des elektrischen Elementarquantums sei, so folgt, daß die Masse des Kanalstrahlteilchens mit dem Teilchen des betreffenden Gases zu identifizieren ist. — Wien beobachtete ferner eine Dispersion des magnetisch abgelenkten Kanalstrahlenbündels, eine Erscheinung, für welche eine allgemein befriedigende Erklärung noch fehlt. Einer genaueren experimentellen Erforschung dieser Erscheinung steht die Schwierigkeit entgegen, daß die Kanalstrahlen auf jedes Material, auf das sie treffen, eine zersetzende oder zerstäubende Wirkung ausüben, so daß es kaum möglich erscheint, die Gasatmosphäre an der Kathode für längere Zeit zu definieren.

Wir finden eine große Dissymmetrie zwischen positiver und negativer Elektrizität. Wir kennen ein negatives Elektron von einer Masse, die nur ein kleiner Bruchteil der Masse des chemischen Atoms ist. Wir kennen aber bislang kein positives Elektron von gleichkleiner Masse. Auch soweit das Studium des Zeeman-Effektes einen Schluß auf die Zentren der Lichtemission erlaubt hat, treten uns als solche Zentren bis jetzt nur negative Elektronen entgegen, nicht auch positive. Viele Autoren betrachten die negativen Elektronen als abtrennbare Bestandteile der neutralen chemischen Atome und die Ionisierung als eine Abspaltung negativer Elektronen von neutralen Atomen; der verbleibende Atomrest stellt dann ein positives Ion dar. Man darf indessen wohl nicht das positive Ion oder das positiv geladene Kanalstrahlteilchen als in seiner ganzen Ausdehnung homogen elektrisch geladen ansehen. Es ist mindestens wahrscheinlich, daß die positiven Ionen eines Gases die Träger von Serienspektren sind, und die Zentren deren Emission enthüllt der Zeeman-Effekt gerade als negative Elektronen. Wir müssen also das positive Ion oder das Kanalstrahlteilchen wieder als von komplizierter Struktur aus diskreten Teilchen ansehen. Eine Anzahl dieser Unterteilchen sind jedenfalls negative Elektronen. Die Frage nach der Natur des positiven Atomrestes ist hiermit noch nicht gelöst, auch vorderhand noch nicht zu beantworten. Es genügt indessen zur Erklärung aller bislang bekannten Tatsachen die Kenntnis, daß es negative Elektronen gibt, und daß diese sich bei der Ionisierung von neutralen Atomen abspalten lassen. Wenn spätere Forschung die Beantwortung der Frage nach der Struktur des positiven Ions bringen wird, so wird damit vielleicht eine Revision oder eine Modifikation unserer dualistischen Auffassung von der Elektrizität notwendig werden, vielleicht auch eine allgemein zufriedenstellende Erklärung der Schwerkraft auf elektrischer Grundlage möglich werden.

### III. Selbständige Strömungen.

Selbständige Strömungen sind der positive Spitzenstrom, der Glimmstrom und der Lichtbogen. Diese Strömungen erzeugen die Ionen

ihrer Bahn selbst und können daher unabhängig von einem sekundären Ionisator bestehen. Während die unselbständige Strömung bei beliebig kleiner Elektrodenspannung möglich ist, erfordert die selbständige eine Minimumspannung. Die beiden Arten der Strömung gehorchen prinzipiell verschiedenen Gesetzen. Trotz viel reicheren Beobachtungsmaterials sind die selbständigen Strömungen noch weit weniger erforscht als die unselbständigen. Eine mathematisch formulierte Theorie der ersteren vermögen wir noch nicht aufzustellen.

Bekanntlich vermögen die Kathoden- und die Kanalstrahlen neutrale Gasteilchen durch Stoß zu ionisieren. Die Forschungen Townsends und Thomsons bestätigten den Schluß, daß auch die Ionen unselbständiger Strömung in einem starken elektrischen Felde hinreichende kinetische Energie erlangen können, um auch ihrerseits durch Stoß neutrale Gasteilchen zu ionisieren. Die Ionisierung durch den Stoß bewegter Ionen ist der Schlüssel zum Verständnis der selbständigen Strömung. Um dieses Verständnis zu gewinnen, haben wir drei Erkenntnisse zu kombinieren.

Erstens ist zu beachten, daß ein positives oder ein negatives Ion, um durch seinen Stoß ein neutrales Atom zu ionisieren, mindestens eine kinetische Energie oberhalb eines bestimmten Minimalwertes besitzen muß.

Zweitens ist folgende Überlegung anzustellen: Die Ionen der selbständigen Strömungen erhalten das zur Ionisierung erforderliche Minimum von kinetischer Energie aus dem elektrischen Spannungsabfall, indem sie ein Minimum von Spannungsdifferenz, die Ionisierungsspannung, frei durchlaufen. Es muß sich also der Spannungsabfall in den selbständigen Strömungen den mittleren freien Weglängen der Ionen anpassen und auf diesen im Minimum immer so groß sein, daß am Ende der freien Weglänge die daselbst notwendige Ionisierung erfolgen kann. Hierin liegt auch die Begründung für die Erscheinung, daß sich die selbständigen Strömungen in einzelne Ionisierungsschichten teilen, von denen jeder ein ihr eigentümliches Minimum von Spannungsabfall zukommt. Es folgt ferner, daß die Bewegung der Ionen hier ganz anderen Gesetzen folgt als in der unselbständigen Strömung. In den Querschnitten einer Schicht der selbständigen Strömungen ist die Geschwindigkeit nicht mehr proportional der örtlichen elektrischen Kraft, entsprechend dem Ohmschen Gesetz. Sie ist vielmehr proportional der Quadratwurzel der bis dahin frei durchlaufenen Spannungsdifferenz, gerade wie es für die Kathoden- und Kanalstrahlen gilt. Die Schichten der selbständigen Strömungen können daher auch angesehen werden als Bündel positiver oder negativer Strahlen, die in dem elektrischen Felde der Strömung verlaufen und eben diese Strömung selbst darstellen.

Drittens ist zu berücksichtigen, daß, um eine dauernde selbständige elektrische Strömung in einem Gase zu ermöglichen, gleichzeitig die positiven wie die negativen Ionen neue Ionen entgegengesetzten Vorzeichens erzeugen müssen zum Ersatz für die durch Wiedervereinigung oder durch den elektrischen Transport verschwindenden Ionen.

Darf sonach die Ionentheorie der selbständigen Strömungen nicht auf der Voraussetzung der Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes basiert werden, und verliert die Definition einer spezifischen Geschwindigkeit der Ionen hier ihren Sinn, so ergibt sich als nächstes Ziel einer mathematischen Ionentheorie der selbständigen Strömungen, für die einzelne Ionisierungsschicht unter Angabe von Grenzbedingungen die Differentialgleichungen aufzustellen, welche die Stromstärke, die Spannung, die Raumkoordinaten, die freien Weglängen, die spezifischen Zahlen, den Wiedervereinigungskoeffizienten und die Ladung der Ionen miteinander verbinden.

Die experimentelle Forschung hat sich zunächst mit der genauen Messung des Spannungsabfalles der einzelnen Schichten zu befassen. Schon vor mehr als einem Jahrzehnt hat Warburg solche Messungen über den Spannungsabfall an der Kathode des Glimmstromes ausgeführt. Für den Spannungsabfall der einzelnen Schicht der positiven Lichtsäule fehlen bis heute analoge Untersuchungen. Erst in neuester Zeit sind derartige Untersuchungen am Lichtbogen in Angriff genommen worden.

## IV. Die Bedeutung der Forschung über die Elektrizität in Gasen für benachbarte Gebiete.

Von großem Nutzen war die Forschung über die elektrischen Erscheinungen in Gasen für die Entwicklung der Lehre von der Radioaktivität, welche hier den größten Teil ihrer Methoden und Ideen fertig ausgearbeitet vorfand. Ähnliches gilt für die Erforschung der Luftelektrizität.

Weniger Nutzen hat bisher die Spektralanalyse aus der Forschung über die Elektrizität in Gasen gezogen. Seit mehr als einem Jahrhundert benutzt sie die elektrische Strömung in Gasen zur Erzeugung diskontinuierlicher Spektra. Der Mechanismus dieser Erzeugung hat dagegen eine allgemeine befriedigende Erklärung noch nicht gefunden. Zu einer solchen wäre zunächst eine gründliche Erforschung der rein elektrischen Vorgänge bei der Erzeugung von Gasspektren erforderlich. — Die Annahme, daß in einem ionisierten Gase neben

neutralen Gasatomen positive und negative Ionen vorhanden sind, führt die Spektralanalyse vor die Frage, welches die Träger der verschiedenartigen Spektren eines Gases sind. Hiermit hat sie die Frage zu kombinieren, aus welchen Energiequellen die emittierte Lichtenergie stammt. Bezüglich der Röntgenstrahlung werden diese Fragen heute ziemlich allgemein dahin beantwortet, daß ihre Energiequelle die kinetische Energie von Elektronionen oder Kathodenstrahlen ist, und daß ihre Träger beschleunigte negative Elektronionen sind. Bezüglich des Linien- und Bandenspektrums sind jene Fragen vorderhand nur durch folgende Arbeitshypothesen zu beantworten: Das Linienspektrum eines Gases hat seine Energiequelle in der kinetischen Energie der Teilchen des ionisierten Gases, seinen Träger in den positiven Atomionen, oder genauer in gewissen Systemen negativer Elektronen, welche in den positiven Atomionen enthalten sind. Diese Hypothese wird durch die Tatsache gestützt, daß ein Gas nur dann sein Linienspektrum emittiert, wenn es gleichzeitig ionisiert und hochtemperiert ist. Das Bandenspektrum eines Gases dagegen dürfte seine Energiequelle in der potentiellen Energie haben, welche das positive und das negative Ion in bezug aufeinander besitzen, und welche bei der Wiedervereinigung wenigstens zum Teil in Lichtenergie verwandelt werden kann. Nach dieser Hypothese ist mit der Ionisierung eines Gases die Emission des Bandenspektrums ebenso notwendig verbunden wie die Wiedervereinigung der Ionen. Und es ist gewiß bemerkenswert, daß nach Versuchen von Pohl Luft in gleicher Weise ein Bandenspektrum emittiert, mag sie mit Kathodenstrahlen oder mit den $\alpha$-Strahlen des Radiotellurs oder mit Röntgenstrahlen ionisiert werden.

Auch die Chemie hat durch die Erforschung der elektrischen Erscheinungen in Gasen eine Förderung erfahren. Die selbständigen Strömungen lösen eine große Anzahl von Reaktionen in chemisch zusammengesetzten Gasen aus. Eingehender untersucht sind von derartigen Reaktionen bisher erst die Ozonisierung in quantitativer Hinsicht, besonders von Warburg, sowie die Stickstoffoxydation vorwiegend in qualitativer Hinsicht.

Die Fortschritte, welche die Forschung über die Elektrizität in Gasen im letzten Jahrzehnt gemacht hat, überwogen bei weitem die in dem vorangegangenen halben Jahrhundert gemachten. Wir haben prinzipiell neue Erkenntnisse über die Arten elektrischer Strömung gewonnen und vor allem über die atomistische Struktur der Elektrizität. Es bleiben aber noch eine ganze Anzahl ungelöster Probleme zurück. Das höchste und letzte Ziel, welches die Forschung über die Elektrizität in Gasen in Zusammenarbeit mit der Spektralanalyse und der Chemie erreichen kann, wird eine Antwort auf die Frage sein, aus welchen Teilchen und nach welchem Plane die chemischen Atome aufgebaut sind.

(Eingegangen 18. Oktober 1905.)

---

## F. Streintz (Graz), Über Metallstrahlen.

Die Metalle Magnesium, Aluminium, Zink und Kadmium besitzen die Eigenschaft, sich in blankem Zustande auf mit Jodkalium getränktem Papiere abzubilden. Die Zeit, die zur Entstehung gut sichtbarer Jodbilder erforderlich ist, hängt wesentlich von der Natur der Metalle ab. Unter günstigen Verhältnissen genügt eine halbe Minute, um ein Bild eines Ringes oder Bleches von Magnesium zu erzeugen, in zwei Minuten ruft Aluminium ein Bild hervor, Zink und Kadmium dagegen bedürfen ungefähr ebensovieler Stunden, als Magnesium und Aluminium Minuten.

Die genannten Metalle gehören zu den elektropositiven und stehen in der Spannungsreihe in der Ordnung + *Mg, Al, Zn, Cd* —. Eisen, Nickel und Kobalt, sowie die elektronegativen Metalle lassen Jodkalium unverändert.

Auch auf die photographische Platte wirken die positiven Metalle. Das Silbersalz ist aber weniger empfindlich als Jodkalium, erst nach längerer Einwirkung entsteht ein latentes Bild, das nach den gewöhnlichen Verfahren hervorgerufen und fixiert werden kann. Werden blank polierte Metallstreifen etwa 24 Stunden lang auf die photographische Schicht gelegt, dann erhält man von Magnesium ein sehr kräftiges, von Aluminium ein kräftiges Bild. Schwächer erscheint Zink, am schwächsten Kadmium.

Wie also die zur Abbildung auf Jodkaliumpapier erforderliche Berührungsdauer des Metalles seine Stellung in der Spannungsweise charakterisiert, so gibt die Dichte des Bildes auf der photographischen Platte davon Zeugnis.

Auch die magnetischen Metalle Kobalt, Nickel und Eisen sind imstande, das Silbersalz zu schwärzen. Doch ist hierzu eine sehr lange Berührungsdauer erforderlich. Bei einem Versuche, der einen Monat in Anspruch nahm, erhielt man sehr gut ausgeprägte Bilder. Von einem Streifen aus blankem Kupfer, der neben den magnetischen Metallen gleichfalls auf die Schicht aufgelegt worden war, fand sich dagegen keine Spur einer Abbildung.

Wird das zu untersuchende Metall nicht unmittelbar nach dem Polieren auf das Papier oder die Schicht gelegt, dann ist seine Wirkung bedeutend herabgesetzt und zwar um so rascher, je positiver, also leichter oxydierbar das Metall

ist. Die Alkalimetalle überziehen sich auch in trockener Luft augenblicklich mit einer Schicht von Oxyd. Trotzdem war es möglich, von Kalium, Natrium und Lithium Bilder zu erhalten. Gewöhnlich werden diese Metalle in einem flüssigen Kohlenwasserstoff aufbewahrt, um sie vor dem Angriff feuchter Luft zu schützen. Allein sie überziehen sich auch darin mit einer Kruste, weil der Kohlenwasserstoff etwas Sauerstoff aus der Luft aufnimmt. Wird nun die photographische Platte in ein Bad von Petroleumäther gebracht, die zu prüfenden Metalle darin zerschnitten und mit ihren Schnittflächen leicht gegen die Platten angedrückt, dann erhält man beim Entwickeln der gereinigten Platte klare Bilder. Eine Berührungsdauer von drei Stunden genügt, um zu zeigen, daß die Spannungsreihe $+ K, Na, Li -$ durch die Dichte der entstandenen Bilder graphisch dargestellt wird.

In einer Atmosphäre von sorgfältig getrockneter Kohlensäure wirken die Metalle auch in blankem Zustande nicht ein. Es erscheint somit kaum zweifelhaft, daß es der eingeleitete Oxydationsprozeß ist, der die Abbildung erzeugt.

Mit der Entfernung des Metalles von der Schicht nimmt die Wirkung beträchtlich ab. Werden z. B. zwei Ringe, ein kleinerer aus Magnalium, ein größerer aus Aluminium, schief auf die Platte gelegt, so daß sie an einer Stelle direkt auf der Schicht liegen, an einer gegenüber liegenden jedoch auf einem 0,5 mm dicken Streifen von Glimmer oder Hartgummi ruhen, dann erhält man nur an den Stellen, wo die Ringe nicht auf den Streifen liegen, ihre Stücke abgebildet. Die Bilder verbreitern sich mit wachsender Dicke der Luftschicht zwischen Ring und Platte, die Ränder werden unscharf. Endlich erscheint das ganze Feld wie mit Licht erfüllt; die Grenzen der isolierenden Streifen heben sich scharf und dunkel von der Umgebung ab. Es hat also eine zerstreuende Wirkung durch die Luft stattgefunden.

Die Erscheinung hat somit den Charakter einer Strahlung und soll als Metallstrahlung bezeichnet werden. Der chemische Prozeß der Oxydation würde demnach durch Strahlen eingeleitet werden. Einige Versuche machen es wahrscheinlich, daß auch andere chemische Prozesse, so z. B. die Verbindung eines Metalles mit Schwefel auf strahlende Vorgänge zurückzuführen sind.

Es liegt nahe, in dem von Nernst mit so großem Erfolge in die Elektrochemie eingeführten elektrolytischen Lösungsdrucke den Urheber der Strahlung zu vermuten. Durch den Lösungsdruck werden positive Ionen (Metallionen) in die Umgebung des Metalles entsendet. Die umgebende Luft erhält dadurch positive, das Metall selbst negative Ladung. Die Wirkung wird um so kräftiger eintreten, je größer der Lösungsdruck oder mit einem anderen Worte, je elektropositiver das betreffende Metall ist. Durch den Stoß der Metallionen tritt eine Volumionisation der Luft ein; dadurch wird das Silbersalz der photographischen Platte oder die Jodkaliumlösung des Papieres gleichfalls ionisiert.

Nun muß aber durch den Ionenstoß die Luft leitend werden und es entsteht die Frage, ob dieses Leitvermögen nachgewiesen werden kann. Versuche in dieser Richtung wurden zunächst mit einem Galvanometer angestellt; sie blieben ohne Erfolg. Die Strahlen scheinen, wie aus den graphischen Versuchen hervorgeht, wenig durchdringend zu sein. Nach der Hypothese sollen sie ja Verwandte der im $\alpha$-Bündel der Becquerelstrahlen enthaltenen sein. Sie unterliegen auch, wie aus den Versuchen mit den Ringen hervorgeht, einer starken Dispersion in der umgebenden Luft.

Mit Hilfe einer elektrostatischen Methode ist es möglich, eine Änderung der Leitfähigkeit nachzuweisen. Die zu prüfenden Metalle werden in der Form von quadratischen Platten zu Kondensatoren zusammengestellt und erhalten entsprechende positive oder negative Ladungen. Die Abnahme der Ladung eines solchen Plattenkondensators mit der Zeit nach seiner Trennung von der Elektrizitätsquelle ist an einem Elektrometer messend zu verfolgen. Ein aus einem elektronegativen Metalle hergestellter kongruenter Kondensator wird dann in derselben Weise zu behandeln sein. Zur Ausführung der Vergleiche ist nicht nur eine möglichst vollkommene, sondern auch eine unveränderliche Isolation erforderlich. Nach mehreren Mißerfolgen zeigte es sich, daß dieser Bedingung nur zwei Nichtleiter genügten: Bernstein und Paraffin. Die Quadranten des Dolezalekschen Elektrometers standen auf Bernstein. Die Zuleitung zur Nadel dagegen war nur durch Hartgummi isoliert. Die zu untersuchenden Ladungen mußten daher, auch wenn sie größer waren, einem Quadrantenpaare mitgeteilt werden. Die Achse des Schlüssels für die wechselnden Verbindungen zwischen Erde, Quadrant, Kondensator und Elektrizitätsquelle bestand aus einem Bernsteinzylinder. Die wechselnden Kontakte wurden durch weiche Platinspiralen, die auf polierte Nickelplatten sanft drückten, vermittelt. Die Nickelplatten waren in eine dicke Platte von Paraffin eingelassen. Der Schlüssel und der Kommutator befanden sich in einem mit einem Deckel versehenen Kasten von Zinkblech, der durch Schwefelsäure und Phosphorpentoxyd trocken gehalten wurde. Aus einem schmalen Schlitz des Kastens ragte ein Bernsteingriff hervor, der die Umlegung des Schlüssels ermöglichte. Das Elektrometer stand unter einer mit

Stanniol bekleideten Kappe, die wie der Blechkasten zur Erde abgeleitet war. Der Verbindungsdraht von Schlüssel und Elektrometer stak in einem Glasrohr, das an drei Stellen durch Scheiben von Paraffin gehalten, konzentrisch in einem weiten, drei Meter langen und ebenfalls zur Erde geleiteten Metallrohr lag. Der Kondensator endlich befand sich in einem geerdeten Kupferkessel, der mit einer seitlichen Öffnung versehen war. Diese war mit Paraffin ausgegossen. Durch die Mitte der Öffnung wurde die in ein Glasröhrchen eingeschmolzene Leitung zur Kollektorplatte einerseits und zum Schlüssel andererseits verlegt. Auf diese Weise wurde die Isolationsbedingung erfüllt.

Der Kupferkessel war offen und besaß am Rande eine Rinne, die mit Quecksilber angefüllt war. Ein Deckel schloß den Kessel luft- und lichtdicht ab. Zur Einleitung der Gase waren am Kessel Ansätze von Kupferröhren angebracht. Die Gase wurden durch mehrere mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllte Waschflaschen geleitet. Es war dafür gesorgt, daß sie nur unter geringem Überdrucke — etwa in 2 bis 3 Perlen in der Sekunde — durch den Kessel flossen.

Die Versuche wurden vorläufig nur mit Kondensatoren aus gleichartigen Metallen, Magnesium und Kupfer, ausgeführt. An Stelle von Kupfer soll später das stärker elektronegative Gold treten. Die verwendeten quadratischen Platten waren möglichst eben hergestellt und hatten bei einer Dicke von 3 bis 5 mm eine Seitenlänge von 51 mm. Die Magnesiumplatten wurden zunächst im Dunkeln auf feinem Karborundpapier, das auf einer ebenen Glasplatte auflag, poliert und rasch in den von Kohlensäure durchströmten Kessel gelegt. Daselbst wurden sie mittels eines Pinsels von etwa haftenden Feilspänen befreit und zum Kondensator zusammengestellt. Die zur Trennung der Platten erforderliche Luftschicht wurde durch drei winzige 0,74 mm hohe Bernsteinplättchen, die an allen Seiten poliert waren, hergestellt.

Die Kapazität $c$ des Kondensators betrug demnach

$$c = \frac{5{,}1^2}{4 . 0{,}074\,\pi} = 28{,}0 \text{ cm oder } 3{,}11 . 10^{-11} \text{ Farad.}$$

Nachdem der Kessel mit dem Deckel bedeckt war, erfolgte die Verbindung zwischen Kollektorplatte und Quadrantenpaare. Die Nadel des Elektrometers durfte keine Ablenkung zeigen, wenn der vorher geerdete Quadrant isoliert mit der ungeladenen Kollektorplatte in Verbindung trat. Von der Erfüllung dieser Bedingung hatte man sich vor jedem Versuche zu überzeugen.

Die Ruhelage der Nadel unterlag in einer halben Stunde Schwankungen, die meist unter einem Teilstriche lagen, dessen Wert in Volt wenige Hundertstel nicht überschritt. Es konnte deshalb der geladene Kondensator in dauernder Verbindung belassen bleiben mit dem Elektrometer, dessen Kapazität $10^{-5}$ Mif. betrug. Bei einer Ladung des Kondensators mit $\pm 38{,}7$ Volt fanden sich gezählt in Minuten nach Abtrennung der Elektrizitätsquelle die auf nachstehender Tabelle enthaltenen Ladungen:

Tabelle I.

| | Kondensator aus Magnesiumplatten | | | | | Kondensator aus Kupfer in Luft | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | in trockener Kohlensäure | | in trockener Luft | | | | |
| Ladung nach | positiv Volt | negativ Volt | positiv Volt | negativ Volt | positiv Volt | positiv Volt | negativ Volt |
| 1 Minute . . . . | 10,28 | 10,33 | 10,61 | 10,41 | 10,33 | 10,28 | 10,33 |
| 6 Minuten . . . | 9,92 | 10,01 | 10,37 | 9,88 | 9,96 | 9,94 | 9,99 |
| 11 Minuten . . . | 9,72 | 9,72 | 10,20 | 9,45 | 9,39 | 9,64 | 9,69 |
| 16 Minuten . . . | 9,39 | 9,46 | 9,94 | 9,03 | 8,82 | 9,40 | 9,45 |
| 21 Minuten . . . | 9,19 | 9,17 | 9,63 | 8,66 | 8,16 | 9,20 | 9,22 |

Tabelle II.

| | Kondensator aus Magnesiumplatten | | | | | | | Kondensator aus Kupfer in Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | in trockener Kohlensäure | | | in trockener Luft | | | | |
| Ladung nach | positiv | negativ | positiv | positiv | negativ | positiv | negativ | negativ |
| 1 Minute . . . | 20,24 | 17,65 | 21,01 | 21,38 | 19,85 | 17,65 | 19,22 | 21,04 |
| 6 Minuten . . . | 17,26 | 13,14 | 17,90 | 18,99 | 11,51 | 13,22 | 11,45 | 19,48 |
| 11 Minuten . . . | 15,16 | 11,50 | 15,51 | 16,86 | 8,67 | 11,41 | 8,60 | 18,37 |
| 16 Minuten . . . | 14,28 | 10,63 | 13,75 | 15,26 | 7,13 | 10,28 | — | 17,27 |
| 21 Minuten . . . | 13,63 | 9,67 | 12,15 | 13,67 | 5,81 | 9,09 | — | 16,63 |

Die Nadel des Elektrometers war gleichfalls mit einer abwechselnden Ladung von ± 38,7 Volt versehen worden, um sämtliche Ausschläge nach einer Seite zu erzielen und zur Kontrolle, ob der mit Phosphorpentoxyd überzogene Quarzfaden jederzeit die genügende Leitung besaß. Die Eichung des Instrumentes geschah innerhalb des Intervalles von 8,1 bis 10,6 Volt von Zehntel zu Zehntel.

Aus der Tabelle I geht zunächst hervor, daß die Zerstreuung der Elektrizität eines Magnesiumkondensators in Kohlensäure in gleicher Weise vor sich geht, wie bei einem Kupferkondensator in gewöhnlicher Luft. Die Abnahme des Potentials in zwanzig Minuten beträgt in beiden Fällen 1,1 Volt.

Anders verhält sich der Magnesiumkondensator, sobald man trockene Luft in den Kessel treten läßt. Der zunächst positiv geladene Kondensator zeigt eine geringere Abnahme als vorher, nämlich nur 1,0 Volt.

Der Ausgangswert von 10,61 Volt eine Minute nach Trennung von der Akkumulatorenbatterie ist nicht unbeträchtlich höher. Man gewinnt den Eindruck, als wenn Magnesium durch die positive Ladung den Charakter eines edleren Metalles angenommen hätte, edler als Kupfer. Vielleicht kann man ein Metall durch entsprechende positive Ladung vor Oxydation schützen.

Wird dagegen der Kondensator in Luft negativ geladen, dann beträgt die Abnahme in zwanzig Minuten 1,75 Volt, obwohl der Ausgangswert mit 10,41 Volt etwas höher liegt als in dem mit Kohlensäure erfüllten. Es sieht aus, als wenn die größere Leitfähigkeit sich erst allmählich entwickeln würde, d. h. die Strahlen Zeit zur Ionisierung bedürften. Dieser Eindruck wird verstärkt, wenn man den Kondensator wieder mit positiver Ladung beschickt. Denn nunmehr beträgt die Abnahme in derselben Zeit 2 Volt.

Charakteristischer werden die Verhältnisse, wenn man mit höheren Ladungen arbeitet. Die Tabelle II ist entstanden, indem man dem Kondensator eine Ladung von ± 80,46 Volt zuführte. Die Nadel des Instrumentes war mit ± 12,33 Volt versehen worden. Die Eichung erfolgte in dem größeren Meßbereich in denselben Zwischenräumen.

Der Magnesiumkondensator unterscheidet sich bei höherer Ladung bereits in Kohlensäure ganz wesentlich vom Kupferkondensator. Positiv geladen büßt er in zwanzig Minuten 6,6 Volt, negativ geladen 8 Volt ein, während der Normalkondensator bei negativer Ladung nur 4,4 Volt verliert. Wahrscheinlich machen sich Spuren von Luft, die von den Platten adsorbiert sind, bei den größeren Ladungen geltend. Vielleicht war auch die Kohlensäure nicht sorgfältig genug gereinigt. Die Nachwirkungserscheinung, die entsteht, wenn der Kondensator nach empfangener negativer Ladung wieder positive enthält, wird nun schon in der Kohlensäureatmosphäre bemerkbar. Nach der zweiten positiven Ladung wird ein um anderthalb Volt größerer Spannungsabfall erreicht.

In trockener Luft werden die Unterschiede zwischen positiver und negativer Ladung sehr beträchtlich. Während der positiv geladene Kondensator nur 7,7 Volt verliert, nimmt der negativ geladene in der gleichen Zeit um 14 Volt ab!

Ich hatte die Absicht, Versuche mit noch größeren Ladungen folgen zu lassen, um den Sättigungsstrom festzustellen. Auch die Zeit, die zur Ionisierung und Entionisierung der Luft erforderlich ist, sollte ermittelt werden. Leider mußten Mitte Juli die Versuche unterbrochen werden, da das Instrument unbrauchbar geworden war. Durch die den Quadranten mitgeteilten großen Ladungen wurden Staubteilchen angezogen, die den schmalen Schlitz zwischen den Quadranten überbrückten. Die Quadranten davon zu befreien, war nicht möglich, da sie lackiert waren. Ein Umbau des Elektrometers in der Art, daß die Quadranten vergoldet werden und die Zuleitung der Nadel gleichfalls durch Bernstein isoliert wird, um ihr die zu untersuchende Ladung zuführen zu können, wird erst nach den Ferien fertig gestellt sein.

Ich muß mich daher begnügen, heute hauptsächlich auf die qualitative Seite der Erscheinung aufmerksam zu machen. Die Ausarbeitung nach der quantitativen wird voraussichtlich geraume Zeit erfordern. Die Versuche mit Magnesium sollen zunächst fortgesetzt werden, dann wird beabsichtigt, andere positive Metalle, zunächst Calcium, das noch lebhafter wasserzersetzend wirkt wie Magnesium, in den Kreis der Untersuchung zu ziehen. Ferner wird der Einfluß der Dicke der Luftschicht studiert werden müssen. Wichtige Aufschlüsse sind von Kondensatoren zu erwarten, die aus verschiedenen Metallen, einer positiven und einer negativen Platte, bestehen usw.

Die Berechnung der Stromstärke, die durch die Metallstrahlen erzeugt wird, wurde auf folgende Weise versucht:

Durch $\varepsilon = c\Delta V$ ist die Elektrizitätsmenge, die zum Teil zerstreut, zum Teil durch den Kondensator hindurchgeht, gegeben.

Im Kupferkondensator ist nach Tabelle II nach der ersten bis zur sechsten Minute verschwunden eine Menge

$$\varepsilon = 4{,}1 \,.\, 10^{-11}\,(21{,}04) - 19{,}48) = 6{,}4 \,.\, 10^{-11}\,\mathrm{Cb},$$

im negativ geladenen Magnesiumkondensator in Luft dagegen

$$\varepsilon' = 4{,}1 \,.\, 10^{-11}\,(19{,}85 - 11{,}51) = 34{,}2 \,.\, 10^{-11}\,\mathrm{Cb}.$$

Die Differenz $\varepsilon' - \varepsilon = 2{,}8 \,.\, 10^{-10}$ Cb ist somit der durch Ionisierung der Luft entstandenen Leitfähigkeit zu verdanken. Daraus berechnet sich eine mittlerere Stromstärke in den ersten fünf Minuten von

$$i = \frac{2{,}8}{300}\, 10^{-10} = 0{,}9 \,.\, 10^{-12} \text{ Ampere.}$$

Ein Nachweis der Magnesiumstrahlen mit Hilfe eines Galvanometers würde demnach aussichtslos erscheinen.

(Eingegangen 28. September 1905.)

## Diskussion.

Kalähne: Ich möchte mir die Frage erlauben, in welcher Weise Licht, sichtbares oder ultraviolettes, bei der Erzeugung dieser Bilder ausgeschlossen worden ist. Es wäre doch möglich, daß die eigentliche Ursache ultraviolettes Licht ist, das zugleich die Ionisation der Luft erzeugt.

Streintz: Das habe ich auch vermutet und daher photographische Versuche gemacht. Ich habe Bleche verwendet, die monatelang in der Dunkelkammer gelegen waren. Ich habe auch Bleche dann mit der Sonne belichtet und abgebildet, und dabei haben sich keine Unterschiede ergeben. (Er zeigt die photographischen Kopien davon.)

Kalähne: Ich meine, die Oxydation erzeugt vielleicht ultraviolettes Licht, und dieses bringt die Ionisation hervor.

Streintz: Ausgeschlossen ist das nicht. Ich habe darüber noch keinen entscheidenden Versuch gemacht und weiß über die Sache gegenwärtig nicht mehr, als ich Ihnen vorgetragen habe.

---

**H. W. Schmidt (Gießen), Einfache Methode zur Bestimmung des Emanationsgehaltes von Flüssigkeiten.**

Der Inhalt dieses Vortrags ist im wesentlichen identisch mit der in d. Zeitschr. **6**, 561, 1905 erschienenen Abhandlung: H. W. Schmidt, Über eine einfache Methode zur Messung des Emanationsgehaltes von Flüssigkeiten.

An der Diskussion beteiligte sich Stefan Meyer (Wien) und der Vortragende, doch kann der Inhalt derselben nach privater Aussprache der Beteiligten als erledigt gelten.

---

**Erich Marx (Leipzig), Die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen.**

**1.** Die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen ist bereits mehrfach experimentell zu bestimmen versucht worden.[1] Der bekannteste Versuch ist der des Herrn Blondlot.[2] Er hat nicht zum Ziele geführt. Das vermeintlich positive Resultat wurde bald von Herrn Blondlot selbst als für die Röntgenstrahlen ungültig erklärt.

**2.** Wer die Erscheinungen, die durch Röntgenstrahlen hervorgerufen werden, auf ihre Verwendbarkeit zur Bestimmung ihrer Geschwindigkeit durchgeht, wird nicht viel Auswahl finden. Als ich vor 2 Jahren an die Bearbeitung des Problems, über dessen glückliches Gelingen ich heute zu berichten habe, ging, da bin ich zuerst folgender Idee nachgegangen. Wenn sie auch nicht zum Ziele führte, so sind doch vielleicht einige Worte darüber nicht unangebracht.

Die Herren Luther und Uschkoff[1]) hatten gefunden, daß die Schwärzungen, die das Licht einer photographischen Platte mitteilt, sich nicht mit den Schwärzungen, welche die Röntgenstrahlen ihr mitteilen, addieren, falls erst Röntgenstrahlen und dann Licht einwirken. Vielmehr bewirkt die Reihenfolge Röntgenstrahlen—Licht eine Subtraktion der einzelnen Wirkungen, während umgekehrt Röntgenstrahlen nach Licht eine Addition der Schwärzungen erzeugen. — Es existiert also ein photographisch-fixierbarer Unterschied in der Wirkung beider Strahlenarten, der lediglich durch das zeitliche Auftreffen der Strahlen auf die photographische Platte bedingt ist.

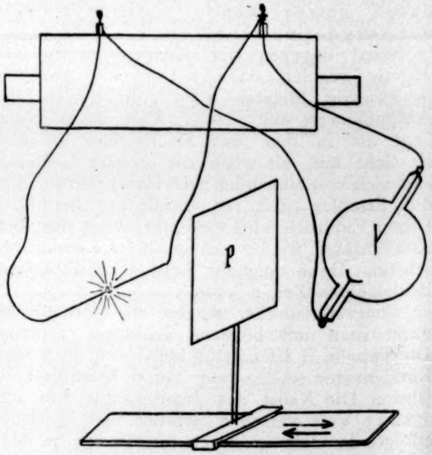



Fig. 1.

Diese Verschiedenheit nach dem zeitlichen Eintreffen habe ich zunächst zu verwenden versucht (Fig. 1). Den Öffnungsfunken eines großen 50 cm-Induktoriums schaltete ich parallel zu einer Röntgenröhre und ließ beide gleichzeitig auf eine photographische Platte, die zwischen Funken und Röntgenröhre aufgestellt war, ein-

1) Brusches, C. R. **130**, 169, 1900.
2) Blondlot, C. R. **135**, 666, 1902.

1) Luther u. Uschkoff, diese Zeitschr. **4**, 866, 1903.

wirken. Die Veränderung des Ortes der Platte sollte den Übergang von Addition zu Subtraktion, und damit den Geschwindigkeitsvergleich ergeben. Hierbei dürfen natürlich, wie sofort ersichtlich, nicht mehrere Entladungen: Licht-Röntgenstrahlen - Licht - Röntgenstrahlen einwirken. Hier liegt aber einer der Gründe, weshalb die Methode nicht zum Ziele führen kann. Denn ein einziger Öffnungsfunke löst bereits eine aus mehreren Entladungen bestehende Schwingung, also auch mehrere Röntgenemissionen und mehrere Funkenmaxima aus. Will man bis zur Aperiodizität dämpfen, so würde die Intensität zu schwach. — So konnte das Ziel also nicht erreicht werden.

3. Nun hat schon einmal das klassische Fizeausche Experiment seine ihm innewohnende Analogiekraft bewiesen, als es sich darum handelte, Geschwindigkeiten von der Größenordnung des Lichtes zu messen.

Die Des Coudres[1])-Wiechertsche Idee der Messung der Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen, ist in ihrer Durchführung durch Herrn Wiechert[2]) ein weitgehendes elektrisches Analogon der Zwei - Zahnräder - Methode. — Ich strebte danach, für die Messung der Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen wiederum ein Zwei-Zahnräder-Prinzip zu finden, und kam zu folgendem Plan (Fig. 2):

Erstens: Röntgenstrahlen sollen durch Hertzsche Schwingungen erzeugt werden, dann werden nur während des Andauerns der negativen Phase der elektrischen Welle Kathodenstrahlen und durch sie Röntgenstrahlen erzeugt. — Erstes Zahnrad und Lichtquelle fallen also zusammen.

Zweitens: Synchron mit der die Röntgenstrahlen erzeugenden Hertzschen Schwingung soll eine Elektrode in einem besonderen Entladungsrohr, das vollständig evakuiert ist, schwingen. Diese Elektrode soll, induktionssicher geschützt, zum Treffpunkt der Röntgenstrahlen werden, und soll dann und nur dann Kathodenstrahlen emittieren, wenn sie im negativen Zustande getroffen wird, keine Kathodenstrahlen, wenn sie in positiver Phase von der Röntgenstrahlung erreicht wird. — Diese Elektrode entspricht also dem zweiten Zahnrad, der die Kathodenstrahlen auffangende Faraday-Zylinder etwa dem Auge.

Die Änderung der Entfernung der Röntgenröhre von der Auffangröhre sollte bewirken, daß die Röntgenstrahlen bei veränderter Weglänge veränderte Phase der bestrahlten Elektrode antreffen und bei Abstandsänderungen von $\frac{1}{2}$-$\lambda$ der erzeugenden Welle sollte sich zeigen, ob die Geschwindigkeit mit der von

1) Th. Des Coudres, Verh. d. phys. Ges. Berlin **14**, 86, 1895.

2) E. Wiechert, Gött. Nachr. 1898, S. 290; Wied. Ann. **69**, 739, 1899.

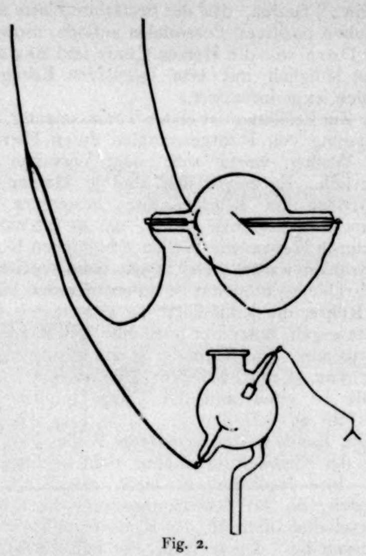


Fig. 2.

der Theorie angenommenen Lichtgeschwindigkeit identisch ist.

Das war die Grundidee[1]); sie ist in Einzelheiten weitgehend modifiziert worden, aber sie hat ihren wesentlichen Grundcharakter bewahrt. Sie hat zu Experimenten von solcher Einfachheit geführt, wie ich sie anfangs nicht erhofft hatte.

4. Zwei wesentliche Voraussetzungen des Experiments waren zunächst zu erfüllen:

Erstens die Erzeugung möglichst intensiver Röntgenstrahlen mit Hertzschen Wellen.

Zweitens der Nachweis, daß solche, hochfrequent erzeugten Röntgenstrahlen die Eigenschaft besitzen, ein dem photoelektrischen Effekt analoges Phänomen auszulösen.

Herr Dorn[2]) hat als erster nachgewiesen, daß das photoelektritsche Analogon bei Röntgenstrahlen existiert. Herr Dorn zeigte, daß die von einer großen, mit einem 60 cm-Induktor verbundenen Röntgenröhre, ausgehende Röntgenstrahlung, beim Auftreffen auf Platin Kathodenstrahlen erzeugt. Der Nachweis erfolgte direkt durch Auffallenlassen der sekundären, abgelenkten Kathodenstrahlung auf eine photographische Platte. Auch indirekt ist der Effekt nachgewiesen worden. Die Herren Curie und

1) Auf dieselbe Idee ist, unabhängig von mir und ohne mein Wissen, auch Herr Prof. Wiener gekommen; für sein weitgehendes Entgegenkommen in der Überlassung der nicht unbeträchtlichen Hilfsmittel habe ich ihm aufs herzlichste zu danken.

2) E. Dorn, Arch. Néel. II, **5**, 595, 1900 (Lorentz-Jubelband).

Sagnac[1]) fanden, daß die bestrahlte Platte sich zu hohen positiven Potentialen auflädt. Sowohl Herr Dorn wie die Herren Curie und Sagnac haben lediglich mit sehr intensiven Röntgenstrahlen experimentiert.

5. Zur Erfüllung der ersten Voraussetzung, der Erzeugung von Röntgenstrahlen durch Hertzsche Wellen, waren sehr viele Versuche erforderlich. Es zeigte sich, daß je kleiner die Elektroden der Röntgenröhre, besonders die Kathode, genommen wurde, um so intensiver die durch Hertzsche Wellen erhältlichen Röntgenstrahlen waren. Der Druck beim Optimum der Strahlungsintensität ist außerordentlich hoch. Die Röhre, die schließlich die günstigsten Resultate ergab, hatte nur noch eine äußere Länge von 30 mm. Die Kathode ist ein Hohlspiegelchen von 3 mm äußerem Durchmesser, die Anode ist eben und hat 5 mm Durchmesser (vgl. Fig. 3).

Die Reinheit der erzeugten Welle wird infolge der Kleinheit der Röhre nicht beeinträchtigt. Ihre Intensität ist nicht merklich verschieden, ob im Schwingungskreis die Röhre eingeschaltet oder ob der Kreis metallisch geschlossen ist. Diese Röhre ist mit einer Regenerationsvorrichtung versehen und bleibt über einer Barometerdichtung an der Pumpe.

Das erzeugende Wellensystem besteht in Lecherschem Kondensator mit Petroleumfunkenstrecke. Die Erregung erfolgt induktiv durch geschlossenen, abgestimmten Kondensatorkreis, der von einem 30 cm Klingelfuß-Induktor mit Quecksilberturbine gespeist wird. Das ganze Wellensystem, mitsamt der Erregung, befindet sich in einem dicht verschließbaren, großen Eisenkasten (vgl. Fig. 7 u. 8). Die Lecherschen Drähte, die zur Röhre gehen, sind isoliert herausgeführt.

Eine solche Röhre ergibt bei direkter Erregung mit Hertzschen Wellen von $\frac{\lambda}{2} = 135$ cm noch Röntgenstrahlen, die imstande sind, auf einem Leuchtschirm die Knochen der Hand bei 25 cm Entfernung von der Röhre deutlich sichtbar zu machen. Bei späterer Anordnung, die bisher noch nicht zur Geschwindigkeitsmessung diente, gelang es mir sogar mit Wellen von $\frac{\lambda}{2} = 34$ cm eine Intensität der Röntgenstrahlung zu erzielen, die groß genug war, um die Knochen meiner Hand auf dem Phosphoreszenzschirm sichtbar zu machen.

**6.** Nach Gewinnung dieser kleinen, 30 mm langen Röntgenröhre fragte es sich, ob es gelingen würde, eine Erzeugung von Kathodenstrahlen durch die von dieser Röhre ausgehenden, hochfrequenten Röntgenstrahlen zu bewirken. Das glückte zunächst nicht. Bei sorgfältig abgeschirmtem Elektrometer erhielt ich gar nichts. Ich bekam auch dann nichts, wenn ich an die Elektrode, die bestrahlt wurde, ein Potential von —1000 Volt von einer Akkumulatorenbatterie anlegte. Es mußte wohl jedem Physiker zunächst unzweifelhaft erscheinen, daß die Anlegung eines hohen, negativen Potentials an die bestrahlte Elektrode die Elektronenemission begünstigen würde. Mir erschien das selbstverständlich, trotzdem Herr Dorn in seiner wertvollen Arbeit nichts davon erwähnt, daß er eine Beschleunigung der Elektronen oder eine Verstärkung ihrer Emission durch angelegte hohe, negative Potentiale erhalten hat. Gleich hier muß ich erwähnen, daß diese, mir selbstverständlich erscheinende Ansicht mich monatelange, mühselige, vergebliche Arbeit gekostet hat; eingehender komme ich darauf später zurück. — Zunächst also erhielt ich an meinem hochempfindlichen Quarzfadenelektrometer bei dem notwendigen, mit der extremsten Sorgfalt durchgeführten Käfigschutz (vergl. Fig. 3 u. 8), bei Bestrahlung der Elektrode völlige Elektrometerruhe. Ich führte dies zunächst auf die noch nicht genügend erreichte Strahlungsintensität der kleinen Röntgenröhre zurück. Es mußte versucht werden, ob dies der Grund war. Da ich nach dem langen Experimentieren, das mich zu dieser Röhre geführt hatte, wußte, daß ich nicht imstande war, eine größere Intensität der Röntgenstrahlung mit Hertzschen Wellen zu erhalten, so wäre eine Bestätigung dieser Befürchtung das Todesurteil für die ganze Methode gewesen.

Es wurde nun zunächst die Intensität der Röntgenstrahlung der kleinen Röhre durch Belichtung einer photographischen Platte während 2 Sek. zu späterem Vergleich festgehalten, dann wurde die kleine Röntgenröhre entfernt, und eine große Gundelachsche mit einer Glaskugel von 15 cm, in einer großen Bleikiste montiert, so angeordnet, daß die Röntgenstrahlen die Elektrode im zweiten Gefäß trafen. — Ich hatte damals — im Februar vorigen Jahres — ein wenig günstiges Auffanggefäß konstruiert; trotzdem ließ sich die Erzeugung von Kathodenstrahlen bei Bestrahlung der Elektrode — natürlich immer saubersten Käfigschutz und Kontrollmessungen vorausgesetzt — ganz zweifelsohne nachweisen.

Nunmehr wurde durch Stanniollagen und Blenden die Intensität der Gundelachröhre so abgeschwächt, daß die photographische Einwirkung bei 2 Sek. Belichtung sicher schwächer war, als bei der kleinen Röhre. An die bestrahlte Elektrode war hierbei ein Potential von —40 Volt angelegt. Selbst bei dieser Schwächung der Strahlungsintensität erhielt ich beim Zurückziehen eines kleinen Bleischützers, der

1) Curie u. Sagnac, Journal de Physique [4] 1, 13, 1902.

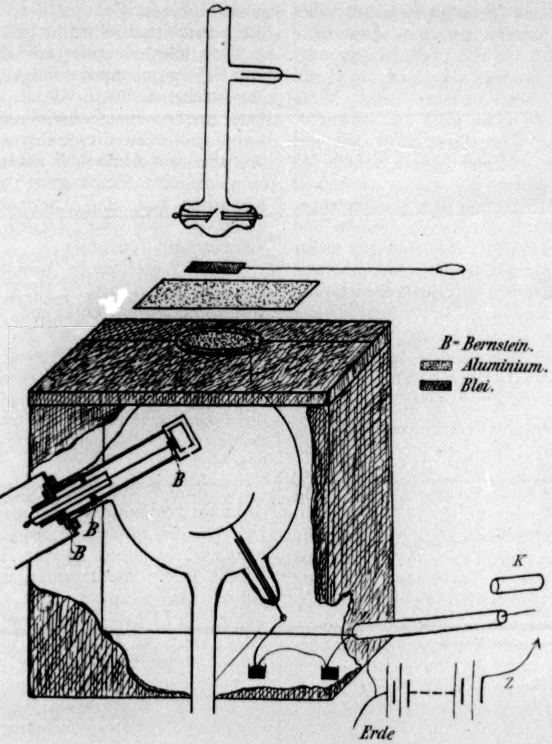



Fig. 3. (1/2 natürl. Größe.)

über einen großen Aluminiumdeckel gelegt war (vgl. Fig. 3), kräftige, negative Elektrometerausschläge, die durch ausgelöste Kathodenstrahlung erzeugt waren. Der Grund für das Mißlingen des Versuchs mit der kleinen Röhre erschien also nicht ihrer zu geringen Intensität zuzuschreiben.

Die Gundelachröhre wurde nun wieder entfernt und die kleine Hochfrequenzröhre an ihre Stelle gebracht, und zwar unter möglichster Konstanthaltung aller die Röhre selbst nicht betreffenden Umstände. Wieder befinden sich die Auffangröhre und die Hochfrequenzröhre an derselben Pumpe. Beide sind über Barometerröhren verstellbar. Die Röntgenröhre ist weiterer Evakuierung durch Quecksilberabsperrung zu entziehen (vgl. Fig. 7). Hähne und Fettungen hinter dem Phosphorsäuregefäß sind vermieden. Das Auffangrohr wird, wie vorher, bis zum äußersten erhältlichen Vakuum, bei dem nach halbstündiger Pause die Kahlbaumpumpe keine sichtbare Luft fortschafft, ausgepumpt. Die einzige Veränderung, die ich damals — es war in unserm alten Institut — wegen Platzmangel vornehmen mußte, bestand darin, daß ich die Hochspannungsbatterie nicht am alten Flecke lassen konnte, sondern sie näher an das Auffanggefäß heranschieben mußte; hierbei wurde der Zuführungsdraht $z$ zur Auffangelektrode (vergl. Fig. 3) etwas verkürzt. Diese Veränderung dürfte wohl zunächst so unwesentlich scheinen, daß es überflüssig erscheint, sie überhaupt zu erwähnen. Dabei lag hier der springende Punkt für Gelingen oder Mißlingen des Experimentes. Immerhin erhielt ich jetzt bei der Substitution der kleinen Röhre Kathodenstrahlung ausgelöst; freilich war sie 100 mal geringer als bei der Gundelachröhre. Ich schob den früheren Mißerfolg irgendeiner mir entgangenen Störung zu; für die immerhin geringe jetzt erreichte Intensität schien mir die einzige Erklärung zu sein, daß das optische Maß der Strahlungsintensität keines für die Auslösungsenergie sei.

7. Hier mußte ich im Juli vorigen Jahres wegen des Umzugs in den Neubau des Phys. Inst. die

Versuche abbrechen. Erst im Februar dieses Jahres konnte ich wieder anfangen. Jetzt hatte ich Platz genug, um nun alle Bedingungen möglichst unverändert zu belassen; auch die Hochspannungsbatterie blieb an ihrer Stelle. Während ich nun früher, wenn auch nur schwache, so doch deutliche Kathodenstrahlen mit der Hochfrequenzröhre auslösen konnte, erhielt ich jetzt gar nichts mehr. Es wurde wiederholt der Effekt nach Montierung der großen abgeschwächten Gundelachröhre nachgewiesen und stets ceteris paribus nichts, aber auch gar nichts mit der intensiveren kleineren Röhre erhalten; ich konnte zunächst den physikalischen Grund des Mißerfolges nicht finden; die Änderung der Härte der Röhre, die Änderung des an der Empfängerelektrode anliegenden Potentials von 0 bis 1000 Volt, was ich auch versuchte, war ohne Einfluß. Ich bekam gar nichts.

**8.** Viele nun folgende Versuche mit Änderung der Wellenlänge usw. übergehe ich. Der Grund für das Mißlingen lag dort, wo ich ihn am wenigsten erwartet hätte. Es zeigte sich schließlich folgendes: Wurde die Hochspannungsbatterie etwas näher an die Auffangröhre herangeschoben und wurde gleichzeitig der Zuführungsdraht $z$ (Fig. 3), der zur bestrahlten Elektrode führte, verkürzt, so traten bei Bestrahlung, Kathodenstrahlen bei —40 Volt Elektrodenpotential auf, während sie bei etwas weiter abstehender Batterie und etwas längerem Drahte $z$ ausblieben. Dieses Heranschieben war zunächst bei einem Umbau unter gleichzeitigen anderen Abänderungen geschehen. Ich ging nun vorsichtig ändernd zurück, und nun zeigte sich folgendes: Wurde, bei Konstanthaltung des angelegten Potentials, der Zuführungsdraht zur Platinelektrode verkürzt resp. verlängert, so traten periodisch Minima der ausgelösten Kathodenstrahlung während der Änderung des Zuführungsdrahtes auf Strecken von etwa 45 cm auf.

Hier waren also Schwingungen vorhanden, deren Entstehung aufzusuchen war.

Zunächst wurde der Einfluß des anliegenden Potentials bei einer Drahtlänge, die gerade ein Maximum der Kathodenstrahlung bei —40 Volt ergab, untersucht. Bei —250 bis —1000 Volt wurden anstatt mehr, wie man eher hätte erwarten sollen, gar keine Kathodenstrahlen erhalten; von —250 bis —140 Volt traten sie in geringer Stärke auf, wobei die Intensität mit abnehmendem Potential durch ein Maximum ging. Von —140 bis —10 Volt war die Intensität wesentlich beträchtlicher als vorher. Nun aber zeigte sich, daß ebenfalls, und nicht merklich schwächer, Kathodenstrahlen bei der gewählten Drahtlänge erhältlich waren, wenn positive Potentiale von +10 bis +140 Volt an die bestrahlte Elektrode gelegt wurden.

Das alles deutete auf das Vorhandensein von Schwingungspotentialen an der Elektrode von solcher Größe, daß die angelegten Potentiale gegen die Schwingungspotentiale klein waren, und daß die Anlegung von höheren Potentialen mit Hilfe der Akkumulatorenbatterie lediglich eine Anhängung einer sehr großen Kapazität und eine Hinderung des Zustandekommens der im Drahte hervorgerufenen Schwingung bedeutete.

Diese Anschauung bestätigte sich, als die Hochspannungsbatterie völlig entfernt, und der Draht frei, isoliert endigend, an der bestrahlten Elektrode befestigt wurde. Jetzt erhielt ich bei abgeschalteter Batterie Kathodenstrahlen bei Zurückziehung des Bleistückchens über dem Aluminiumdeckel (Fig. 3), die an Intensität weit die bisher erhaltenen übertrafen und die Elektrometernadel sofort aus dem Gesichtsfeld brachten.

**9.** Es galt nun den Ursprung der im Elektrodendraht vorhandenen Schwingung aufzusuchen. Der an die Elektrode angehängte Draht wird nunmehr mit dem ganzen Auffangesystem inklusive Elektrometerzuführung usw. völlig metallisch eingekapselt (mit Hilfe von $K$ in Figur 3). Das Elektrometer bleibt völlig ruhig, wenn die Türen des Eisenkastens, der die Schwingungseinrichtung für die Hochfrequenzröhre enthält (Fig. 7), herausgenommen werden, so daß die Hertzschen Wellen, die Schwingungen des Teslatransformators, die des 30 cm-Induktors durch das Zimmer schwirren, ohne daß die Elektrometernadel nur um 1 mm Weite aus der Ruhelage kommt.

Wird aber das kleine Bleiblech, das auf einem großen Aluminiumdeckel liegt, weggezogen, so gibt's einen mächtigen negativen Ausschlag. Die Schwingung des Drahtes ist also durch die Röntgenstrahlen selbst erzeugt. Das war eine neue Erscheinung, deren Erklärung sehr leicht ist, wenn man bedenkt, daß periodische Röntgenbestrahlung periodischen Abfluß negativer Elektrizität vom Drahte bewirken muß. Die Existenz einer solchen Schwingungserregung[1]), ohne Funkenstrecke, nur durch Strahlung, hatte ich nicht vorausbedacht. Ihre untrügliche Auffindung führte binnen 12 Tagen zur Lösung des seit zwei Jahren verfolgten

1) Nachdem hier zum ersten Male eine, durch periodische Strahlung ausgelöste Schwingung nachgewiesen ist, wodurch es möglich wird, die störende Funkenstrecke zu vermeiden, werden sich spätere Untersuchungen darauf zu richten haben, ob sich eine solche Erregung nicht noch intensiver durch ultraviolettes Licht, etwa von einem Quecksilberrohr, wird bewerkstelligen lassen. Mir erscheint es nicht zweifelhaft, daß es gelingen wird, mit Hilfe einer derartigen Schwingungserregung den Spektralbereich elektrischer Wellen nach kurzen Wellen hin zu erweitern.

Problems. Es war klar, daß hier in dem mit der bestrahlten Elektrode verbundenen Drahte nicht nur eine Schwingung, sondern ein Resonanzphänomen ausgelöst wurde (vergl. 8). Völlig unklar war noch, wieso das Einsetzen der Kathodenstrahlung bei Zuschaltung von Drahtlängen von etwa 45 cm verhindert werden konnte, während doch die halbe Wellenlänge des Lecherschen Systems zu 135 cm von mir gemessen war.

**10.** Ich ließ diese Frage zunächst auf sich beruhen, um sofort an das eigentliche Problem heranzugehen. Nachdem einmal die Tatsache klar war, daß die Elektrode durch die auffallenden Röntgenstrahlen selbst in Schwingung geriet, war die Aufgabe jetzt folgende: Die durch die Röntgenstrahlen erzeugte Schwingung war zu dämpfen und dem Elektrodensystem war die Schwingung der die Röntgenstrahlen erzeugenden E. M. K. aufzuzwingen.

Hierbei muß selbstverständlich die Intensität der Schwingung in solchen Grenzen gehalten werden, daß von der Elektrode selbst keine Kathodenstrahlen[1]) ohne Röntgenstrahleinwirkung ausgehen. Wohl läßt sich durch lang anhaltendes Pumpen, bei Vermeidung von Schliffen und Hähnen, wie hier, ein Vakuum erreichen, bei dem die schnellst wechselnden Potentiale von noch so großer Intensität keine sichtbare Entladung mehr hervorrufen. Es kann aber, wie ich glaube, kein Vakuum unter solchen Umständen erreicht werden, bei dem nicht ein sehr empfindliches Elektrometer noch die Existenz einer dunkeln Kathodenstrahlentladung anzeigt. Deshalb muß die Schwingungsamplitude der schwingenden Elektrode in gewissen Grenzen gehalten werden.

Die Anordnung, die sich aus dieser Überlegung schließlich ergab, war nun die folgende

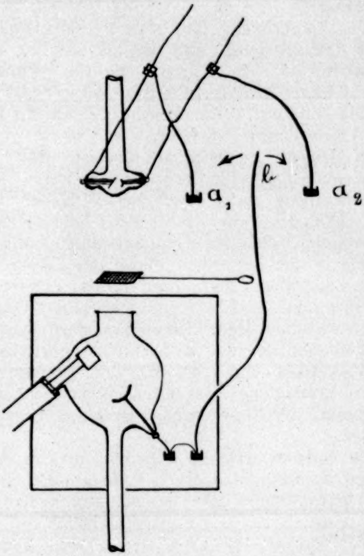


Fig. 4.

(Fig. 4): Über die beiden Lecherschen Drähte wird dicht am Eisenkasten je ein schmales Stück Isolierrohr von 1,5 cm innerer Weite angebracht. Die Lecherschen Drähte selbst sind aus Guttapercha- isoliertem, dicken *Cu*-Draht. Die Isolierröhren werden unverrückbar so befestigt, daß die Lecherdrähte axial hindurchgehen. Sie selbst sind symmetrisch angebracht. Auf den Röhren befindet sich eine einzige Windung eines isolierten Guttaperchadrahtes von $^1/_2$ mm Durchmesser. Die Drähte führen zu je einem Quecksilbernäpfchen. — Der Verbindungsdraht zur bestrahlten Platinelektrode ist isoliert aus dem Käfigschutz der Auffangröhre herausgeführt. In die Zuführung im Innern des Käfigs zur Elektrode ist ein 5 cm langer Wollastondraht von $^1/_{100}$ mm Dicke eingeschaltet.

Wählt man jetzt einen Draht von geeigneter Länge und verbindet $a_1$ resp. $a_2$ mit $b$, so erhält man bei Erregung der Röhre dann keinen Elektrometerausschlag, wenn ein Bleiplättchen über dem Aluminiumfenster liegt; wird aber das Bleiplättchen zurückgezogen, so ergibt die Schaltung des Drahtes zu $a_1$, der Anodenseite, einen starken negativen Ausschlag. Die Schaltung desselben Drahtes zum gegenüberliegenden Näpfchen $a_2$, auf der Kathodenseite, ergibt ceteris pari-

1) Die sekundären Kathodenstrahlen, die durch Röntgenstrahlen ausgelöst werden, sind von anderem Charakter als die durch ultraviolettes Licht erzeugten. Eine ausführliche Arbeit hierüber wird an anderem Orte erscheinen. Hier sei aber bemerkt, daß, wie schon Herr Dorn fand, ihre Geschwindigkeit außerordentlich groß ist. Ich konnte sie noch durch eine vierfache Aluminiumfolie, die auf den Faraday-Zylinder geklebt war, hindurchbringen. Die Größe der Geschwindigkeit drückt sich auch dadurch aus, daß bei völlig evakuiertem Gefäß die Nullstellen der Brücke einen ganz kleinen Raum gegenüber dem negativen Bereiche einnehmen, indem weit ins positive Gebiet der Welle hinein noch Elektronenemission statthat. In dem Geschwindigkeitsbereich der Elektronen, den wir hier antreffen, liegt ein prinzipielles Interesse. — Ferner: Sind die großen Geschwindigkeiten $^1/_4\, c$ der Sekundärstrahlen, die Herr Dorn an einem Platinblech feststellte, ohne ein besonderes Potential von außen anzulegen, auf Schwingungspotentiale zurückzuführen oder nicht? Bei weichen Röhren ist die Dämpfung der Oszillation im Röntgenrohr selbst wesentlich geringer als bei harten Röhren. Man müßte erwarten, daß die Strahlung weicher Röhren geeigneter zur Erzeugung von Schwingungspotentialen am bestrahlten Platinblech sein müßte, als die harter Röhren. Das aber ist es, was Herr Dorn ausdrücklich betont: Harte Röhren waren „entschieden ungünstig“. — Die prinzipielle Wichtigkeit der Beantwortung der Frage liegt in der Schlußweise, welche aus der Ausgangsgeschwindigkeit des Elektrons auf seine innere, freie Geschwindigkeit im Metall zu schließen sucht. Diese müßte viel größer möglich sein als man bisher annimmt, wenn, ohne beschleunigendes Potential, $^1/_4\, c$ erreicht würde. Herr Lenard fand bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht, ohne befördernde Ladung $^1/_{300}\, c$.

bus keinen Ausschlag, wenn das Empfangsgefäß völlig ausgepumpt ist. Sind jedoch Spuren Luft im Auffanggefäß zurückgeblieben, so erhält man bei Abnahme von der Kathodenseite der Röntgenröhre einen schwachen, positiven Ausschlag.

Das Experiment läßt sich verhältnismäßig leicht demonstrieren und ist als solches sehr instruktiv, da es gleichzeitig die $180^0$ Phasenverschiebung bei der Transformation und die Potentialdifferenz symmetrischer Seiten der Lecherschen Drähte vorführt.

**11.** Dieses Experiment beweist, daß die Schwingung des Lecherschen Systems sich der Elektrode hatte oktroyieren lassen. Es war gelungen, mit den durch die gleiche Schwingung erzeugten Röntgenstrahlen während der Dauer der negativen Phase der Elektrode, Kathodenstrahlen auszulösen. Ich erwartete, daß sich nun bei Einschaltung variabler Drahtlängen zwischen dem kleinen Transformator auf der Kathodenseite und der Elektrode, periodisch, in Abständen von 135 cm, der gemessenen halben Wellenlänge des Lecherschen Systems, Nullpunkte der Elektrometerausschläge ergeben würden.

Es wurden nämlich von nun an im Auffanggefäß stets absichtlich Luftreste gelassen, um scharfe Minima der Ausschläge beim Durchgang von + zu — zu erhalten.[1]) Wenn es möglich wurde, bei Einschaltung von Drahtlängen zwei Nullpunktsbestimmungen oder mehr durchzuführen, so war man bereits hierdurch, mit Hilfe einer Dämpfungsmessung der erzeugenden Welle in den Stand gesetzt, wenigstens die Größenordnung der Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen und eine untere Grenze derselben anzugeben, ohne eine Veränderung der Röntgenröhrenentfernung vornehmen zu müssen. Ich konnte hier noch nicht hoffen, daß eine Verschiebung der Röhre, die im Maximum etwa 15 cm betragen konnte, bei dieser Anordnung der halben Wellenlänge von 135 cm mir viel mehr als die Größenordnung ergeben würde. Da aber trat etwas ein, was meine experimentelle Voraussicht auch nicht im entferntesten erhofft hatte. Es zeigte sich nämlich, daß mehrere ganz klare, auf 4 mm Genauigkeit angebbare Nullstellen sich bei Einschaltung von je 45 cm Drahtlänge ergaben.

Das waren dieselben 45 cm, auf die ich bereits bei der durch die Röntgenstrahlen im frei angehängten Draht erzeugten Schwingung gestoßen war (vergl. 8). Jetzt war mir klar, daß im erzeugenden Wellensystem selbst eine kurze Schwingung drin sein müßte, auf die ich wegen den Gesamtdimensionen des ganzen Systems nicht gefahndet hatte. Ich ging also daran, von neuem die Wellenlänge des Systems bei eingeschalteter Röntgenröhre zu untersuchen.

**12.** Zu diesem Zwecke benutzte ich einen Luftresonator aus zwei parallelen straff gespannten Drähten (vgl. Fig. 7). Die Drähte sind fest auf drei langen Maßstäben montiert; der mittelste ist, wie die Figur zeigt, im stumpfen ∢ gegen die beiden anderen gestoßen. Das Gestell wird auf dem großen Eisenkasten befestigt, und zwar so, daß ein Teil der Drahtleitung nahe den Lecherdrähten, die zur Röntgenröhre führen, vorbeigeht. Wird die Röhre erregt, so ergibt die Verschiebung von zwei Brücken auf dem Luftresonator die Wellenlänge, die bekanntermaßen mit der Leuchtröhre aufgesucht wird. Nun zeigte sich in der Tat, daß neben der Welle von 135 cm $\frac{\lambda}{2}$ eine zweite von 45 cm $\frac{\lambda}{2}$ auf dem System war. Von der kurzen Welle ließen sich deutlich nur 6 halbe Wellen, keine 7. mehr abgreifen. Diese kurze, stark gedämpfte Welle ist entweder eine Oberschwingung oder sie entspricht der Strahlung der ersten Kondensatorhälfte mitsamt den Erregerkugeln des Lecherschen Systems, also einem völlig ungeschlossenen, stark gedämpften Kreise.

**13.** Die Feststellung, daß nach etwa drei vollständigen Schwingungen sich die für die Röntgenstrahlerzeugung und das Potential der bestrahlten Elektrode maßgebende Schwingung totgelaufen hat, liefert im Verein mit obiger Beobachtung von zwei Nullpunkten (vgl. 11) (der dritte fällt mit der Hauptwelle zusammen) einen ersten unteren Grenzwert der Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen. Wäre die Welle des Lecherschen Systems ungedämpft, so könnte möglichenfalls zwischen der Zeit der ersten und zweiten Koinzidenz eine beliebige Anzahl von Schwingungen der Elektrode stattgefunden

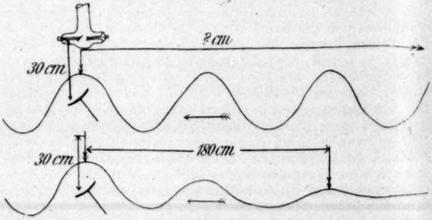



Fig. 5.

haben (Fig. 5). Die Schwingung ist aber schon nach drei ganzen Oszillationen praktisch verschwunden, deshalb muß die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen so groß sein, daß sie hinreicht,

1) Sind Spuren von Luft zurückgeblieben, so werden diese ionisiert, die schwingende Elektrode reißt im positiven Zustand alsdann die negativen Elektronen im Auffanggefäß an sich, und läßt das Elektrometer schwach positiv zurück.

um spätestens die dritte negative Schwingung noch zu erreichen. Es kann also die Zeit, die der Strahl braucht, höchstens gleich der sein, die das Licht braucht, um die Strecke von $2 \cdot 90$ cm $= 180$ cm zurückzulegen, das Licht kann also höchstens 180 cm zurücklegen in der Zeit, die der Strahl für den Weg von der Antikathode zur Elektrode, also für etwa 30 cm braucht. Die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen muß also mindestens $^1/_6$ von der des Lichtes sein; größer kann sie sein, aber nicht kleiner.

**14.** Freilich erübrigt sich diese Schätzung; denn dank des unerwartet glücklichen Umstandes, daß bei der gewählten Wellenanordnung, die Röntgenstrahlemission einerseits, die negative Potentialschwingung der bestrahlten Elektrode andererseits, innerhalb Zeiten stattfindet, die den Zeiten entsprechen, die das Licht braucht, um nur 45 cm zurückzulegen, daß ferner die Nullstellen mit einer Einstellungsschärfe von 4 mm Drahtlänge feststellbar sind, wobei die Hauptwelle von 135 cm keine Störung deshalb hervorruft, weil die kleine Welle quasistationär zur großen liegt, ließ nunmehr mit Sicherheit voraussehen, daß eine Verschiebung der Röntgenröhre um 10 cm eine direkte Messung der Strahlen ergeben würde.

**15.** Vorher aber war der Einfluß von zwei Begleiterscheinungen der Röhrenverschiebung zu untersuchen. Erstens war es notwendig, sich zu überzeugen, ob innerhalb der Verschiebungsgrenzen der Röntgenröhre, nicht allein durch die örtliche Verschiebung selbst, sondern auch durch die mit ihr verknüpfte Schwächung der Strahlung eine Beeinflussung des Nullpunktes auf der Transformationsleitung, deren Länge jetzt kontinuierlich variabel gemacht wurde (Fig. 6), eintrat. Zu diesem Zwecke wurde ein Bleiblech von der Größe des Röhrenfensters, mit 20 Löchern von 1,5 mm Durchmesser versehen, über das Fenster gelegt. Bei 7 cm Röhrenentfernung vom Fenster ließ sich feststellen, daß der Nullpunkt genau an seiner Stelle blieb, ob die Blende auf dem Fenster lag oder nicht.

Diese Begleiterscheinung der Ortsveränderung der Röhre war also ungefährlich, gefährlicher erwies sich unter Umständen die zweite. Wird nämlich die Röhre nach oben geschoben, so wird das Vakuum in ihr höher, die Röhre also härter. Dadurch wird der Anstieg des Potentials im Röntgenrohr ein anderer und hierdurch ändert sich die Zeit des Einsetzens der Kathodenstrahlen, welche die Röntgenstrahlen erzeugen.[1]) Dieser Einfluß des veränderten Vakuums läßt sich auch tatsächlich in einem gewissen Bereich der Vakuumsänderung an der veränderten Nullstellung verfolgen. Wenn aber die Röhre durch allmähliches Erwärmen der Regenerationseinrichtung eine gewisse Weichheit erreicht hatte, dann trat bei weiterer Verschlechterung des Vakuums keine Änderung der Nullage mehr ein.

Es ist dies daraus erklärlich, daß alsdann nur bei den höchsten Amplituden der Potentialschwingung der Hertzschen Welle eine Röntgenstrahlerzeugung einsetzt; selbst die höchsten Potentiale der Teslaentladung erzeugen dann beim Durchgang durch die Hochfrequenzröhre blauweiße Entladungen, aber keine Röntgenstrahlen.

**16.** So ergab sich denn schließlich, nach diesen letzten Vorversuchen als definitive Anordnung folgende Nullmethode:

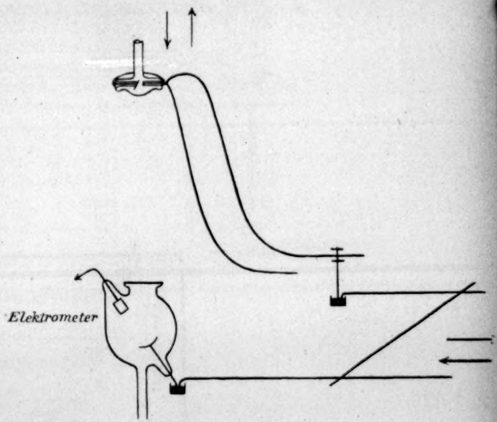



Fig. 6.

Von zwei Quecksilbernäpfchen (Figur 6) gehen gestreckte Drähte in einer gegenseitigen ⊥ Entfernung von 30 cm aus. Beide Drähte sind durch eine Drahtbrücke verbunden, die auf einem Maßstab Führung hat. Durch Verschiebung der Brücke von den Näpfchen fort wird erreicht, daß das Potential der bestrahlten Elektrode, das von den Strahlen der Hochfrequenzröhre angetroffen wird, variiert, und zwar derart, daß etwa das negative Maximum, bei einer Brückenverschiebung von 22,5 cm um die Zeit später ankommt, die das Licht braucht, um 45 cm zu durchlaufen. Wird die Brücke so eingestellt, daß die auftreffenden Röntgenstrahlen gerade den Nullpunkt des Potentials antreffen, so wird eine Verschiebung der Röntgenröhre nach oben bewirken, daß die Röntgenstrahlen wiederum ein von O verschiedenes Potential antreffen. Um den Nullpunkt[1]) wieder

1) Th. Des Coudres, Verh. d. Phys. Ges. Berlin **16**, 162, 1897.

1) Für die Genauigkeit der Messung sind die Nullpunkte auf der Drahtleitung nicht gleichwertig; bei weitem der schärfste ist der, welcher der dritten Halbschwingung der

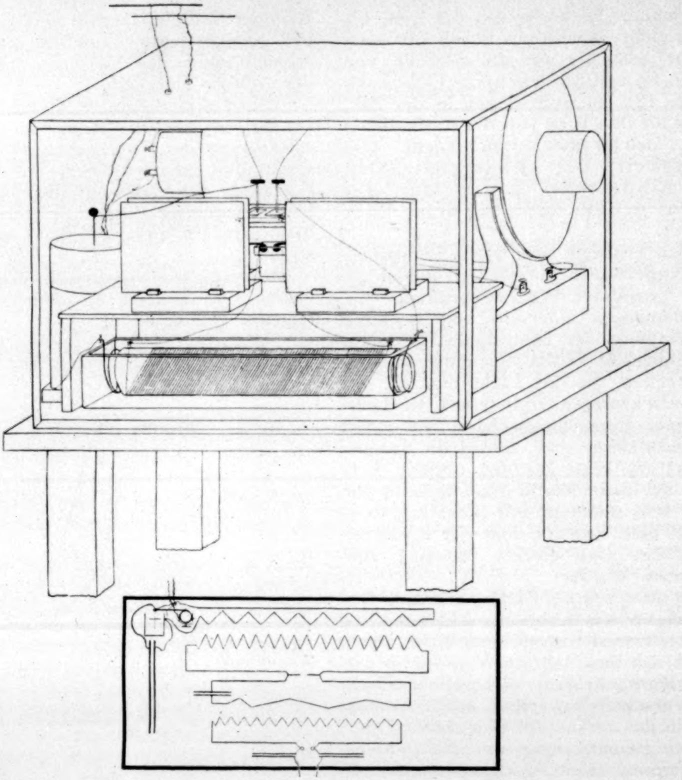


Fig. 7.

zu erhalten, muß also die Brücke verschoben werden, und zwar muß sie um die Hälfte der Strecke verschoben werden, um die die Röntgenröhre verschoben wird, falls die Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen identisch mit der der Elektrizität in geraden Drähten, also mit der des Lichtes, ist.

Die Messung selbst wird mit sehr weichen Strahlen ausgeführt; sie wird nur dann als gültig betrachtet, wenn nach der Verschiebung des Rohres die Kontrollmessung in der Anfangslage ergibt, daß sich von äußeren Parametern inzwischen nichts verändert hat.

Das Resultat ist:

Identität der Drahtlängen mit den Röhrenverschiebungen innerhalb 5 Proz. den bisherigen[1]) Fehlergrenzen des Experiments, also **Gleichheit der Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen mit der Lichtgeschwindigkeit** innerhalb dieser Genauigkeit.

**17.** Hiermit ist das, was ich Tatsächliches vorzutragen habe, im wesentlichen erschöpft, ich bitte Sie aber, mir noch wenige Sekunden zu gewähren, um kurz darauf hinzuweisen, daß die Verwendbarkeit des Apparates, wie er hier beschrieben ist, nicht Halt macht an dem Problem, über dessen Bearbeitung ich eben referierte.

Jede Art der Strahlung, die periodisch erzeugbar oder durch periodische Kräfte zerlegbar ist und ihrerseits polare Eigenschaften eines schwingenden Systems uslöst, wird sich, wie ich denke, nach

45 cm-Welle entspricht. An dieser Stelle fällt nämlich der erste Nullpunkt der 135 cm-Welle mit dem der kurzen Welle zusammen.

1) Gleich nach meiner Rückkehr nach Leipzig wurde von Herrn Prof. Wiener eine Messung mit meinem Apparat ausgeführt, welche die hier angegebene prozentische Genauigkeit bestätigte.

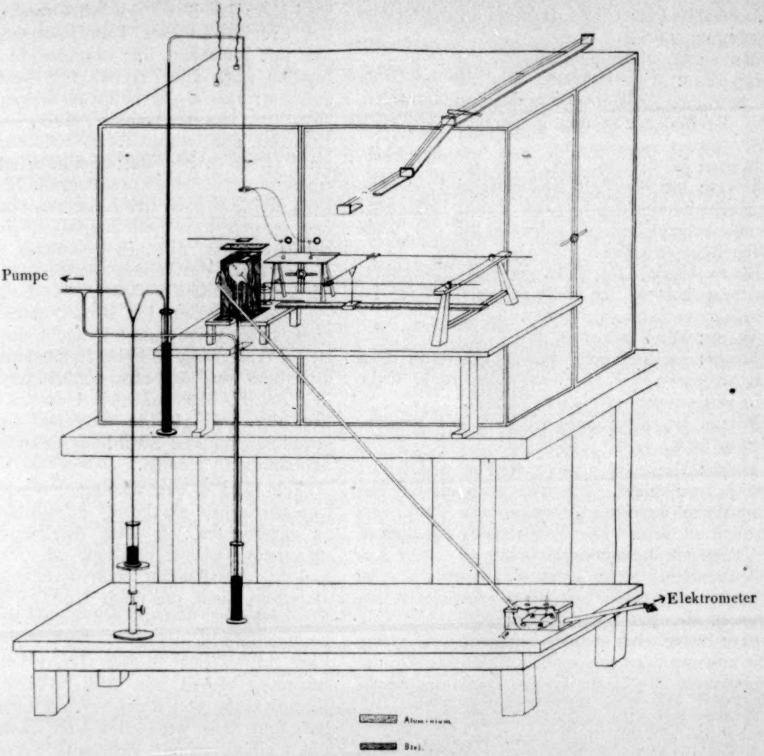



Fig. 8.

dieser Methode untersuchen lassen.[1]) Hierauf näher einzugehen, dazu ist hier nicht die Zeit; nur der Hinweis auf ein spezielles Problem, für dessen Bearbeitung eine derartig schwingende Elektrode als Ersatz des Zahnrades im Fizeauschen Versuch vielleicht verwendbar sein wird, sei gestattet.[2])

Es ist dies die bisher noch immer unentschiedene, für die Elektrodynamik fundamentale, Frage nach der Existenz eines Einflusses der Erdbewegung auf die Geschwindigkeit des Lichtes.

Stellt doch diese schwingende Elektrode, die auf minimale Energie ansprechend, mit viel tausendfacher Energie antwortet, in sich ein Uhrwerk dar von relais-artigem Charakter, ein Uhrwerk, das, wie ich eben zeigte, imstande ist, Zeiten auf wenige Prozent Genauigkeit direkt[1]) zu messen, die kleiner sind als die, welche das Licht braucht, um Strecken von 10 cm zurückzulegen, also Zeiten die kleiner sind als der dritte Teil eines Tausendstel einer Milliontel Sekunde.

1) Von bekannten Strahlenarten erscheint vielleicht allein die $\gamma$-Strahlung obige, notwendige Bedingung für die Untersuchung der Geschwindigkeit mit Hilfe dieser Methode nicht zu erfüllen. Um auch die $\gamma$-Strahlung untersuchbar zu machen, wird man nach einem Entladungsrohr zu suchen haben, welches beim Durchgang der oszillatorischen Entladung, als Ventilrohr funktionierend, im leuchtenden Zustande die $\gamma$-Strahlen wesentlich stärker absorbiert, als im dunkeln Zustande, hierdurch wird sich periodische Zerlegung der durchtretenden Strahlen erwirken lassen.

2) Gedacht ist an eine Ein-Lichtweg-Methode am photoelektrischen Effekt und Quarzfenster.

1) Die kürzeste unbekannte Zeit, die bisher durch direkten Vergleich mit Lichtwegzeiten gemessen werden konnte, war die Zeit, welche die Kathodenstrahlen brauchen, um etwa 1 m zurückzulegen, also etwa 350 cm Lichtwegzeit. Die damals erreichte Genauigkeit betrug etwa 50 Proz. Interferenzmessung des Lichtes gestattet sehr kleine unbekannte Längen, aber keine unbekannten Zeiten festzustellen.

(Eingegangen 28. September 1905.)

## Diskussion.

Rubens: Ich habe die Methode noch nicht ganz genau verstanden. Ist es so, daß Sie von einem Punkt X-Strahlen ausgehen lassen, und

die bestrahlte Platte liegt darunter an demselben Schwingungskreis?

Marx: Ja, aber nicht direkt.

Rubens: Also indirekt. Und Sie beobachten nun das Auftreten von Kathodenstrahlen, wenn die Platte von den X-Strahlen getroffen wird?

Marx: Ja.

Wien: Ist die Zeit berücksichtigt, welche die Kathodenstrahlen in der Röhre brauchen? Die sekundäre Elektrode schwingt mit der Phase in der Röntgenröhre?

Marx: Nein, sie kann ja eine Phasenverschiebung haben. Ich stelle so ein, daß ich im Elektrometer Null beobachte.

Wien: Was bedeutet das?

Marx: Es bedeutet, daß gerade dann etwa noch ausgehende Kathodenstrahlen nicht mehr das Elektrometer erreichen können.

Wien: Ja, aber dann ist doch die Phasendifferenz drin.

Marx: Das darf ja sein; die Phasendifferenz stört ja gar nicht. Ich will noch einmal das Wesentliche auseinandersetzen, um ganz verständlich zu sein. Die X-Strahlen, die hier an der Elektrode ankommen, erzeugen dann Kathodenstrahlen, wenn dort ein negatives oder höchstens schwach positives Potential ist. Kommen sie später an, so finden sie hier eine positive Phase. Ich stelle so ein, daß hier nichts mehr ankommt, unabhängig von der Erzeugung. (Er erläutert die Sache an der Hand der Zeichnung.)

Wien: Jetzt ist es klar.

Pictet: Diese wundervolle Methode kann vielleicht auch dazu dienen, die Geschwindigkeit der $\alpha$-, $\beta$- und $\gamma$-Strahlen zu bestimmen; das wäre sehr schön.

Marx: Darauf ist zu erwidern, daß soweit die Radiumstrahlung durch schnelle periodische Kräfte zerlegbar ist, dies gewiß möglich ist, daß man aber dazu einfachere Methoden hat. Man braucht ja natürlich nur die magnetische Ablenkung zu messen. Aber hier hat man eine Methode, um direkt die Lichtgeschwindigkeit mit der Geschwindigkeit von elektrischen Wellen in Drähten zu vergleichen Der bisherige experimentelle Nachweis, daß elektrische Wellen in geraden Drähten mit der gleichen Geschwindigkeit sich fortpflanzen wie das Licht, ist immer nur ein indirekter Nachweis. Dieser indirekte Nachweis fällt hier fort, hier ist ein direkter Nachweis ermöglicht.

---

**A. Kalähne (Heidelberg), Einige Eigenschaften der Strahlung des Chininsulfates.**

Bei Beobachtungen über die von ihm als „schwarzes Licht" bezeichneten Erscheinungen fand Herr Le Bon[1]) im Jahre 1900 am neutralen Chininsulfat eine Lumineszenzerscheinung, die mit Ionisation der umgebenden Luft verbunden war. Die Erscheinung besteht in folgendem: Das als Arzneimittel bekannte Chininsulfat, ein lockeres weißes Pulver, leuchtet beim Erhitzen auf Temperaturen zwischen 100$^0$ und 180$^0$ C kurze Zeit auf; beim Wiederabkühlen tritt von neuem eine kurzdauernde Lichtemission auf. Beide Male ist das Leuchten von Ionisation der umgebenden Luft begleitet, die man dadurch erkennt, daß ein geladenes Elektroskop in der Nähe des leuchtenden Sulfates entladen wird. Behauchen verstärkt das Leuchten beim Abkühlen, woraus Le Bon schloß, daß ein chemischer Vorgang die Ursache des Leuchtens ist — Wasserabgabe beim Erhitzen und Wasseraufnahme aus der atmosphärischen Feuchtigkeit beim Abkühlen. Als Ursache der Ionisation der Luft glaubte er eine der Radiumstrahlung ähnliche Strahlung des Chininsulfates annehmen zu müssen.

Ich habe es unternommen, die Natur dieser hypothetischen Strahlung zu untersuchen, um zu entscheiden, ob eine direkte Aussendung geladener Teilchen vorliegt, oder, wie ich vermutete, Ausstrahlung von kurzwelligem ultraviolettem Licht, das nach Lenard ionisierende Eigenschaften besitzt und daher ebenfalls die beobachtete Ionisation der Luft erregen könnte. Eine im Verlauf dieser Untersuchungen erschienene Arbeit von Miß Gates[2]), die auf Veranlassung von Rutherford entstanden ist, hat zum Ziele wesentlich den Nachweis, daß die Chininstrahlung durchaus verschieden ist von der Strahlung der radioaktiven Substanzen, bringt aber weder eine endgültige Entscheidung dieser Frage, noch sind ihre Resultate in allen Punkten einwandfrei.

Bei den Absorptionsversuchen, die ich zur Untersuchung der Strahlung anstellte, stieß ich ebenso wie Miß Gates auf Schwierigkeiten, die mit der Entstehungsweise der Strahlung zusammenhängen und die mich veranlaßten, zunächst die Bedingungen zu prüfen, unter denen die Strahlung entsteht. Es ergab sich dabei, daß als Ursache des Leuchtens und der Ionisation allein der schon von Le Bon vermutete chemische Vorgang der Wasserabgabe bezw. Wasseraufnahme anzusehen ist, nicht die Temperaturänderung. Dieser Vorgang hat den Charakter eines umkehrbaren Dissoziationsprozesses, der abhängig ist von der Temperatur und dem Partialdruck des Wasserdampfes in der Umgebung. Der Dissoziationsdruck des Dampfes beträgt bei 20$^0$ wenige Millimeter Quecksilber-

1) Le Bon, C. R. **130**, 891, 1900, Revue scientifique, Ser. 4 Bd. **13**, 451, 1900.
2) F. C. Gates, Phys. Review, **18**, 135, 1904.

säule, bei 40⁰ nach roher Schätzung etwa 15 mm und bleibt bei 100⁰ sicher noch erheblich unter 750 mm.

Die Intensität der Strahlung und mit ihr der Ionisationsgrad und die am Elektrometer beobachtete Stromstärke hängt ab von der Reaktionsgeschwindigkeit, die man durch passende Wahl der Temperatur und der Schnelligkeit, mit welcher der Wasserdampf zugeführt oder entfernt wird, beliebig regulieren kann. Der Ionisationsgrad, gemessen an der Stromstärke, ist daher nicht ohne weiteres charakteristisch für die Chininstrahlung. Wohl aber ist es nach meinen Beobachtungen die gesamte Entladungsmenge, die bei gegebener Spannung unabhängig ist von der Zeitdauer der Reaktion und nur abhängt von der Natur des umgebenden Gases, vom Vorzeichen der Elektrometerladung und der Richtung des chemischen Prozesses (Wasserabgabe oder Wasseraufnahme). Ob der Elektrodenabstand eine Rolle spielt, ist noch nicht untersucht worden. Die Entladungsmenge ist in Wasserstoff größer als in Luft und in dieser größer als in Kohlensäure; sie ist größer bei Wasseraufnahme als bei Wasserabgabe; sie ist ferner größer, wenn die dem geerdeten Sulfat gegenüberstehende Elektrometerplatte negativ geladen ist, als wenn dieselbe positive Ladung trägt. Bei 250 Volt Spannungsdifferenz und 0,6 cm Elektrodenabstand betrug sie für negative Ladung bei Wasseraufnahme etwa $25 \cdot 10^{-9}$ Coulomb pro Gramm Sulfat.

Die Versuche wurden in einem geschlossenen Entladungsgefäß ausgeführt, bestehend aus einem flachen Messingteller mit dem in dünner Schicht darauf ausgebreiteten Sulfat, der mit einer Glasglocke überdeckt war. Ins Innere der Glocke führte die isolierte Zuleitung zu einer Elektrode aus Messingdrahtnetz, die dem Chininsulfat gegenüberstand, und zwei Glasröhren zum Durchleiten von trockener oder feuchter Luft. Der Teller mit dem Sulfat trug unten angelötet eine Kammer mit zwei Zuleitungsröhren aus Messing und konnte nach Belieben durch strömenden Dampf geheizt oder durch fließendes Wasser gekühlt werden.

Die Absorptionsversuche wurden in folgender Weise angeordnet. Der Boden einer flachen Metallbüchse, die mit einem Deckel hinreichend dicht geschlossen werden konnte, wurde von der zu untersuchenden Substanz gebildet; auf dieser lag das Sulfat in dünner Schicht. Die Büchse mit dem Sulfat wurde im Heizschrank auf 140⁰ erhitzt und das Sulfat dadurch entwässert. Nach dem Erhitzen wurde die geschlossene Büchse im Exsikkator $^1/_2$ Stunde abgekühlt, hierauf herausgenommen, auf die Öffnung in einer horizontalen Metallplatte gesetzt, der die Elektrometerplatte in 1 cm Entfernung gegenüberstand und schnell der Deckel durch einen anderen ersetzt, der innen mit feuchtem Fließpapier ausgekleidet war. Die Reaktion verlief dann unter verhältnismäßig starkem Leuchten sehr rasch und intensiv. Trotzdem ergaben Versuche mit Aluminiumfolie von 0,02 bis 0,005 mm Dicke, durchscheinendem Seidenpapier und Quarz von 3,9 mm Dicke gar keine Elektrometerwirkung. Die bei Quarz zuweilen beobachtete ganz eigenartige Elektrometerwirkung läßt sich rein elektrostatisch erklären, indem sich herausstellte, daß das Sulfat auf der gut isolierenden Quarzplatte von vornherein positive Ladung besaß, die entweder als Reibungs- oder als Pyroelektrizität zu erklären ist. Die negativen Resultate beweisen, daß jedenfalls keine durchdringenden Strahlen vorhanden sein können, also keine $\beta$- oder $\gamma$-Strahlen. Ob stark absorbierbare positive $\alpha$-Strahlen ausgesandt werden oder ultraviolettes Licht, wie vermutet wurde, müssen weitere Versuche zeigen. Jedenfalls müßte in letzterem Falle die Wellenlänge so klein sein, daß Quarz bereits stark absorbiert und nur Versuche mit Flußspat noch Erfolg versprechen können.

(Eingegangen 28. September 1905.)

---

## P. Weiß (Zürich), Über den Ferromagnetismus der Kristalle.

### 1. Magnetit.

Eine Untersuchung über die magnetischen Eigenschaften des Magnetits hat gezeigt, daß dieser reguläre Kristall sich im magnetischen Felde nicht wie ein isotroper Körper verhält, sondern eine Intensität der Magnetisierung annimmt, deren Größe mit der Richtung des Feldes sich ändert und deren Richtung im allgemeinen mit der Feldrichtung nicht übereinstimmt. Diese Erscheinungen besitzen die Symmetrie des regulären Systems. Wenn der Feldvektor eine Kugel beschreibt, beschreibt der Vektor der Magnetisierung eine Fläche, welche einem Würfel mit hohlen Flächen und abgerundeten Kanten ähnlich ist und nur im Felde $\infty$ zu einer Kugel ausartet. Diese Eigenschaften sind durch Messungen mit dem ballistischen Galvanometer ermittelt worden. Hier zeige ich nur die Existenz der zwei aufeinander rechtwinkeligen Maxima der Magnetisierung in der Würfelfläche und der zwei gegeneinander geneigten Maxima in der Dodekaederfläche, durch die Einstellung von Magnetitscheiben im Felde eines permanenten Magneten.

### 2. Pyrrhotit.

Die Untersuchung des Magnetkieses oder Pyrrhotits, des anderen in schönen Kristallen

vorkommenden ferromagnetischen Minerals ergab sofort noch schärfere Gegensätze in dem magnetischen Verhalten in verschiedenen Richtungen. Der Pyrrhotit ist scheinbar hexagonal. Es zeigte sich, daß die Intensität der Magnetisierung für alle Richtungen in der Basisebene des rechtsseitigen Prismas einen bedeutenden Sättigungswert annehmen kann. Dagegen war für die Richtung senkrecht zu dieser Ebene die Magnetisierung stets gleich 0. Diese Ebene, welche somit den Vektor Magnetisierung stets enthält, kann als magnetische Ebene bezeichnet werden.

Wenn das Feld gegen diese Ebene geneigt ist, sind Größe und Richtung der Magnetisierung in der magnetischen Ebene dieselben, wie wenn nur die Komponente des Feldes in dieser Ebene vorhanden wäre. Und zwar sind alle magnetischen Eigenschaften, die hysteretischen mit inbegriffen, diesem Gesetze unterworfen.

Wir führen hier einen kleinen Apparat vor, welcher gestattet, eine Kugel von Pyrrhotit mit der magnetischen Ebene senkrecht zu den Kraftlinien eines permanenten Magnetes oder parallel zu ihnen einzustellen. Ein Universalgelenk gibt in beiden Fällen der Kugel die nötige Beweglichkeit. In dem ersten Falle kann man dem Magnetpol mit der Kugel in Berührung bringen, ohne eine Anziehung zu beobachten; in dem zweiten erfolgt ein Ausschlag schon in dem Abstande von mehreren Zentimetern.

Solange nur Felder von wenigen Hundert Gauß angewendet wurden, konnte keine Abweichung von der Eigenschaft der magnetischen Ebene entdeckt werden. Bei Feldern von mehreren Tausend Einheiten dagegen zeigte sich, daß eine schwache Suszeptibilität senkrecht zur magnetischen Ebene besteht. Diese, umgerechnet auf dieselbe Dichte des Eisens, liegt ganz in der Nähe der Suszeptibilität der paramagnetischen Verbindungen des Eisens, von welcher H. du Bois gezeigt hat, daß sie angenähert konstant ist. Man kann also den Satz aussprechen:

Der Pyrrhotit ist ferromagnetisch in der magnetischen Ebene und paramagnetisch senkrecht zu derselben.

Die ersten Messungen über die Eigenschaften des Pyrrhotits in der magnetischen Ebene zeigten eine außerordentlich komplizierte Beziehung zwischen der Größe und Richtung des Feldes und der Größe und Richtung der Intensität der Magnetisierung.

Die erwartete hexagonale Symmetrie fehlte, von den Symmetrieelementen schien nur das Zentrum zu bestehen.

Diese Verhältnisse klärten sich auf durch die Betrachtung der hier reproduzierten Kurve (Fig. 1), welche ein direktes Versuchsresultat

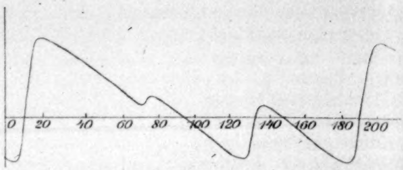



Fig. 1.

darstellt. Es ist, als Abszisse aufgetragen, der Winkel eines konstanten Feldes in der magnetischen Ebene mit einer bestimmten Anfangsrichtung desselben und als Ordinate die Komponente der Magnetisierung senkrecht zur Richtung des Feldes.

Um diese Kurve zu deuten, greifen wir zu einem Vergleich. Denken wir uns eine elliptische Platte aus Eisen in einem rotierenden Felde. Aus Symmetriegründen wird die Richtung der Magnetisierung mit derjenigen des Feldes übereinstimmen in der Richtung der Achsen der Ellipse. Ist das Feld gegen die Achsen geneigt, so liegt die Intensität der Magnetisierung näher bei der großen Achse als das Feld. Daher dreht sich in der Nähe der großen Achse die Magnetisierung langsamer und in der Nähe der kleinen Achse rascher als das Feld. Diese letzte Drehung wird um so rascher, als die Ellipse gestreckter ist. Es wird daher bei geeigneten Verhältnissen die Komponente des Feldes in der Nähe der kleinen Achse von einem großen negativen Werte sofort momentan auf einen großen positiven Wert übergehen, wie es die Fig. 2 darstellt. Man sieht, daß

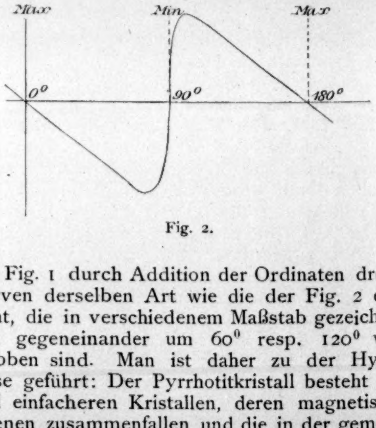



Fig. 2.

die Fig. 1 durch Addition der Ordinaten dreier Kurven derselben Art wie die der Fig. 2 entsteht, die in verschiedenem Maßstab gezeichnet und gegeneinander um 60° resp. 120° verschoben sind. Man ist daher zu der Hypothese geführt: Der Pyrrhotitkristall besteht aus drei einfacheren Kristallen, deren magnetische Ebenen zusammenfallen und die in der gemeinschaftlichen magnetischen Ebene um 120° gegeneinander verdreht sind. Die relative Größe dieser Komponenten ist durch die Amplituden

der raschen Variationen der Kurve (Fig. 2) gegeben.

Diese Deutung wurde durch die Untersuchung weiterer Pyrrhotitkristalle bestätigt, indem bei allen die drei raschen Variationen auf der Kurve vorgefunden wurden, aber mit regellos von einem Kristall zum andern sich verändernden Amplituden. Aber trotzdem mehrere Hundert Bruchstücke untersucht wurden, gelang es nicht ein einziges zu entdecken, in welchem nur einer der drei elementaren Kristalle vertreten wäre. Es blieb daher nichts anderes übrig als die Eigenschaften der elementaren Substanz von denjenigen eines zusammengesetzten Kristalls abzuleiten, in welchem zwei der Komponenten einen möglichst kleinen Bruchteil der Substanz ausmachen.

Die Resultate dieser Untersuchungen sind, kurz zusammengefaßt, folgende: Es gibt in der magnetischen Ebene jedes elementaren Kristalles zwei ausgezeichnete aufeinander senkrechte Richtungen, für welche das Feld und die Magnetisierung zusammenfallen. Für eine dieser Richtungen, diejenige der leichten Magnetisierung erreicht die magnetische Intensität schon für kleine Felder ihren Sättigungswert und es lassen sich die Versuchsresultate ungezwungen durch den Satz ausdrücken: Für diese Richtung erreicht die Magnetisierung die Sättigung schon in den schwächsten Feldern, wenn man von der Hysterese und der entmagnetisierenden Wirkung der endlichen Dimensionen und der Diskontinuitäten des untersuchten Scheibchens absieht.

In der zu der ersteren senkrechten Richtung verhält sich die Substanz, wie wenn eine durch die Struktur des Kristalls bedingte entmagnetisierende Wirkung genau proportional der Intensität der Magnetisierung zu überwinden wäre. Mit den oben angegebenen Annäherungen ist daher die Magnetisierung proportional dem Felde und erreicht die Sättigung bei einem Felde von 7300 Gauß.

Wenn das Feld eine beliebige Größe und Richtung hat, bleibt der Endpunkt des Vektors Intensität der Magnetisierung innerhalb eines Kreises, dessen Radius der Sättigungsintensität gleich ist.

Beschreibt ein gegebenes Feld alle Richtungen der magnetischen Ebene, indem es von der Richtung $OA$ (Fig. 3) der leichten

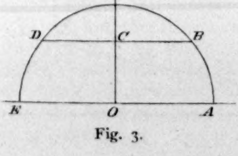


Fig. 3.

Magnetisierung ausgeht, so beschreibt die Intensität der Magnetisierung zunächst den Bogen $AB$ auf dem Kreise der Sättigung. Erreicht das Feld die nächste Nähe der Richtung $OC$, so beschreibt die Magnetisierung momentan eine Sehne $BCD$ parallel der Richtung leichter Magnetisierung und schließlich, während das Feld den Winkel $COE$ zurücklegt, beschreibt die Magnetisierung den Bogen $DE$. Die Pfeilhöhe des Bogens nimmt proportional ab mit der Differenz $H-7300$ Gauß. Für alle Felder oberhalb 7300 Gauß beschreibt die Magnetisierung den Kreis der Sättigung vollständig. Die Substanz ist aber deswegen nicht isotrop, da die Richtung der Magnetisierung im allgemeinen mit der Feldrichtung nicht übereinstimmt.

Betrachtet man jetzt in einer gegebenen Richtung der magnetischen Ebene von 0 auf $\infty$ anwachsende Felder und die zugehörigen Werte der Komponente der Intensität der Magnetisierung in Richtung des Feldes, so erhält man die Magnetisierungskurven im gebräuchlichen Sinne des Wortes. Diese Kurven gehören drei verschiedenen Typen an, je nachdem man die Richtung der leichten, der schwierigen Magnetisierung oder eine dazwischen liegende Richtung betrachtet. Es ist klar, daß man durch Kombination dieser Kurven diejenigen der technischen Materialien, die meistens Gemische von Kristallen sind, reproduzieren kann.

Wir haben bis jetzt von den hysteretischen Eigenschaften abgesehen. Es ist gelungen, für dieselben ein einheitliches Bild zu geben und sie mathematisch auszudrücken. Für diesen Teil der Untersuchung, sowie für die Beziehungen der beobachteten Tatsachen zu einer einfachen Molekularhypothese verweise ich auf die Originalabhandlung.[1])

Im Anschluß an die beschriebenen Versuche wurde, gemeinschaftlich mit Dr. J. Kunz, die thermische Änderung der Magnetisierung untersucht. Es zeigte sich, daß die Sättigungsintensität mit der Temperatur einen ähnlichen Verlauf annimmt wie diejenige der anderen magnetischen Materialien.

1) Journal de physique Paris 1905; Archives des sciences phys. et nat. Genève 1905.

(Eingegangen 28. September 1905.)

**E. Lecher (Prag), Über Thermoelektrizität.**

Ich hatte die Absicht, meine Mitteilung in zwei Teile zu gliedern: einen experimentellen und einen theoretischen.

Die Kürze der zu Gebote stehenden Zeit zwingt mich aber, von meiner experimentellen

Arbeit der geehrten Versammlung nur die Schlußresultate vorzuführen, die in dieser Tafel (Fig. 1) vereint sind.[1])

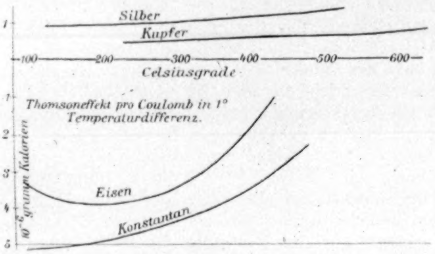



Fig. 1.

Die Abszisse gibt Celsiusgrade, die Ordinaten stellen den Thomsoneffekt für Eisen, Konstantan, Kupfer und Silber in absolutem Maße dar.

Irgendeine Ordinate gibt also die in einem Drahte von beliebigem Querschnitte und beliebiger Länge durch ein Ampere in einer Sekunde entwickelte Wärmemenge, wenn in dem Drahte ein solches Temperaturgefälle herrscht, daß die Eintrittsfläche des Stromes um $1^0$ C höher ist als die Austrittsfläche. — So ist z. B. der Thomsoneffekt für Eisen und für $100^0$ gleich $-3{,}40$ Grammkalorien mal $10^{-6}$.

Die bei niederen Temperaturen gewonnenen Zahlen stimmen sehr gut mit den von anderen Forschern gegebenen, für höhere Temperaturen wurden diese Größen vorher noch nie bestimmt.

Meine Messungen sind gewiß noch mit Fehlern behaftet, die sich verbessern lassen werden. — Gleichwohl ist der Zug der Linien der Hauptsache nach richtig, so daß man einige nicht uninteressante Folgerungen daran knüpfen kann.

Fassen wir unsern tatsächlich gefundenen Wert, die Ordinaten $\sigma$ auf als Differenzwert einer mit der Temperatur sich ändernden Funktion $F(t)$, so ist

$$\frac{dF(t)}{dt} = \sigma \text{ oder } F(t) = \int \sigma\, dt.$$

Führen wir diese Integration für unsere gemessenen 4 Funktionen $\sigma$ durch, so stellt diese Tafel (Fig. 2) die so gewonnenen $F(t)$ dar. (Eine leise Krümmung nach aufwärts ist für *Ag* und *Cu* nicht gezeichnet.) Diese Kurven können zunächst so aufgefaßt werden, daß die betreffenden Ordinaten bis auf eine Integrationskonstante die Wärmemitführung durch ein Coulomb liefern. Ich wähle diesen Ausdruck, da denselben W. Thomson bei Entdeckung dieses Phänomens gebraucht: conduction of heat.

1) Die ausführliche Arbeit erscheint demnächst in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie.

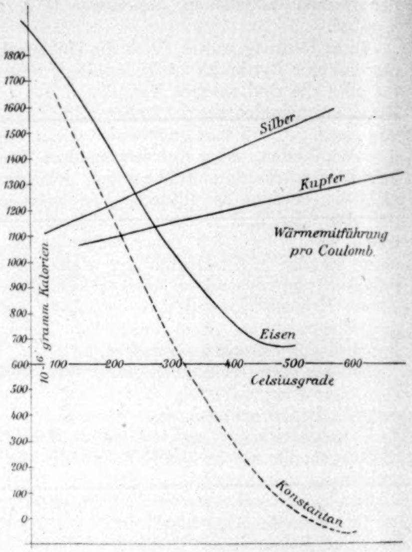



Fig. 2.

In Fig. 2 sind diese 4 Kurven für die $F(t)$ in beliebiger Höhe eingezeichnet, der Ordinatenmaßstab ist gegen Fig. 1 bedeutend verkleinert.

Die weiteren Bemerkungen sollen sich auf ein Thermoelement *Cu-Fe* beziehen, wo die Temperatur der einen Lötstelle $t_1$ z. B. gleich $100^0$ C, die der zweiten $t_2$ gleich $200^0$ C sei. Dann fließt der Thermostrom von *Cu* durch die Lötstelle $t_2$ nach *Fe*.

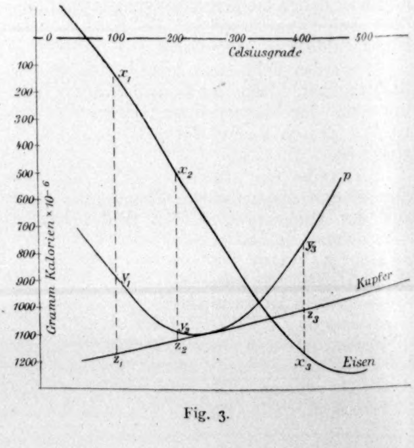



Fig. 3.

In Fig. 3, wo nur mehr die $F(t)$ für $Cu$ und $Fe$ gezeichnet sind, geht also der Strom in der Richtung (dem Uhrzeiger entgegen) $z_2\, x_2\, x_1\, z_1\, z_2$. — Wenn ein Coulomb hindurchgeht, entwickelt es durch die Änderung von $F(t)$ allein folgende Wärmen:

Lötstelle $t_1$ $F_{fe}(t_1) - F_{cu}(t_1) =$ Höhendifferenz $x_1$ zu $z_1$ positiv

Lötstelle $t_2$ $F_{cu}(t_2) - F_{fe}(t_2) =$ Höhendifferenz $z_2$ zu $x_2$ negativ

im $Cu$-Drahte $\int dF_{cu}(t) =$ Höhendifferenz $z_1$ zu $z_2$ negativ

im $Fe$-Drahte $\int dF_{fe}(t) =$ Höhendifferenz $x_2$ zu $x_1$ negativ.

Daraus ergibt sich zunächst folgende mnemotechnische Regel. Gehen wir in unserem Diagramm in der thermoelektrischen Richtung (dem Uhrzeiger entgegen), so sind Höhendifferenzen nach aufwärts genommen als Wärmeabsorption, d. i. als Wärmeeinnahme, Höhendifferenzen nach abwärts durchströmt als Wärmeerzeugung, d. i. als Wärmeabgabe der Kette aufzufassen.

Nun ergibt die Summe aller dieser Wärmen über den geschlossenen Kreis Null und nicht wie es sein müßte die Stromarbeit des Thermoelementes.

Diese Stromarbeit verlangt also ein Zusatzglied, dasselbe können wir anbringen entweder

I. nur an den Lötstellen,

oder II. nur in den Drähten,

oder III. an den Lötstellen und Drähten zugleich.

Ich gehe zur Erörterung dieser Vorstellungen.

I. Dem ersten entspricht die von Planck gegebene Darstellung.

Fig. 3 gibt das betreffende Schema für $Fe\,Cu$. Ich zeichne zunächst $F(t)$ für $Fe$. Hierauf zeichne ich eine Funktion $p$ so, daß die Ordinatendifferenzen diesen beider Funktionen, z. B. $x_1\, y_1$ oder $x_2\, y_2$ oder $x_3\, y_3$ usw. dem Peltiereffekt bei dieser Temperatur für die Stromeinheit pro Sekunde entspricht. Dann zeichne ich die $F(t)$-Linie für $Cu$ und zwar zunächst der Übersichtlichkeit wegen so, daß die $p$-Linie tangiert wird.

Nun ist mein $F(t)$ seiner Bedeutung nach genau dasselbe wie die „elektromolekulare Energie" von Planck.

Nach Planck hat jedes Elektrizitätsteilchen, abgesehen von der gewöhnlichen elektrostatischen Lageenergie und sonstigen elektrischen Zuständen in jedem Leiter eine bestimmte elektromolekulare Energie, welche nur von der Natur dieses Leiters und seiner Temperatur abhängt. Es sei, um die Plancksche Bezeichnung einzuführen $F(t)$ für Eisen $= u_a$ und das $F(t)$ für Kupfer $= u_b$. Die entwickelten Wärmen wären dann durch die Änderung dieser Energie von $u_a$ in $u_b$, also für irgendeine Lötstelle durch $u_a - u_b = xz$ gegeben.

Das Experiment der Peltierversuche liefert aber nur $xy$, also um den Betrag $yz$ weniger. Dieser Betrag entspricht nach Planck der Potentialdifferenz $\pi_{ab}$.

Gehen wir um den ganzen Kreis herum, so heben sich wie natürlich, da Anfang und Ende gleich, alle Änderungen des $u$ auf und es bleibt $\pi_{1\,ab} = y_1\, z_1$ als Wärmeeinnahme und das kleinere $\pi_{2\,ab} = y_2\, z_2$ als Wärmeabgabe. $y_1\, z_1 - y_2\, z_2$ ist also die beim Durchgange von ein Coulomb im Kreis verschwundene Wärme. — Diese entspricht der elektromotorischen Kraft.

Wir sehen, daß dies $(y_1\, z_1 - y_2\, z_2)$ von $0^0$ bis gegen $280^0$ wächst, dann abnimmt und schließlich negativ wird, wie es den Versuchsresultaten entspricht. Unsere Tabelle ist in $gr$ Kalorien gegeben, rechnen wir diese Werte der elektromotorischen Kraft in Volt um, so erhalten wir genau die Werte, wie sie direkte Versuche über die thermoelektrische Kraft $Cu\,Fe$ ergaben. Die Übereinstimmung — das Anschreiben von Zahlen führte hier zu weit — ist eine sehr gute.[1])

Ferner ist klar, daß ich die $u_b$ Linie (für Kupfer) da die Integrationskonstante unbekannt bleibt, in beliebiger Höhe zeichnen kann. Das ist selbstverständlich, da wir den Einzelwert $\pi_a$) nur an offenen Elementen bestimmen könnten.

Schließlich bemerke ich, daß die Überlegungen dieselben geblieben wären, wenn ich die Peltierkurve, statt über der Eisen-, über der Kupferlinie gezeichnet hätte. (Siehe Fig. 4.)

II. Überlegen wir nun, wie sich unser Diagramm für $Fe$-$Cu$ nach der Auffassung von Kohlrausch gestalten wird. Hier liegt die ganze elektromotorische Kraft nur in den Temperaturgefällen der Drähte.

Es seien nach Boltzmann $m$ (resp. $\mu$) Temperaturfunktionen, welche die Wärme darstellen, die beim Austritte eines Coulombs aus dem betreffenden Metalle Eisen (resp. Kupfer) entwickelt werden. Der Thomsoneffekt $n$ (resp. $\nu$) wird hier nicht allein durch die Änderung des $m$ (resp. $\mu$) erzeugt, es kommt noch eine Funktion $a$ (resp. $b$) hinzu. Das ist die Größe, welche für die elektromotorische Kraft des Elementes aufzukommen hat. Der Thomsoneffekt ist in einem Leiterelement

$$n\,dt = \left(\frac{dm}{dt} - a\right) dt.$$

Nehmen wir der Übersichtlichkeit wegen zunächst an, daß diese elektromotorische Kraft nur im Eisen zu suchen sei. Ziehen wir eine $Cu$-Linie, wie in Fig. 4 in richtiger Direktion, so stelle diese Funktion $\mu$ dar. — Darüber zeichne ich die Peltierkurve, wie in Fig. 4; dieses ist die Funktion $m$.

1) Siehe frühere Anmerkung!

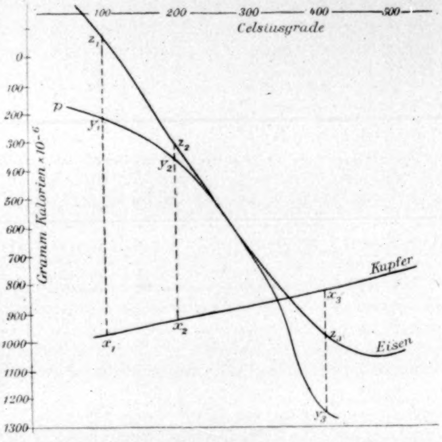



Fig. 4.

Der Peltiereffekt ist dann $\mu - m = xy$. Zeichnen wir wieder der Übersichtlichkeit wegen die neue Eisenlinie $[F(t)]$ in richtiger Direktion, aber so, daß in einem Punkte Berührung stattfindet. Diese Funktion ist in Boltzmanns Bezeichnung $\int v\,dT$. Im Eisendrahte ergibt dies zwischen der Integrationsgrenze $t_1$ und $t_2$ die Wärmeabsorption, welche der Höhendifferenz von $z_2$ nach $z_1$ entspricht. — Der elektrische Strom nimmt aber nur Wärme mit sich, welche der Höhendifferenz $y_2$ nach $y_1$ entspricht, d. h. meine Messung ergibt, daß der Strom mehr Wärme aus dem Drahte mitführt als die Funktion $\mu$ verlangt und zwar entsprechend der Höhendifferenz $z_2$ zu $z_1$ weniger der Höhendifferenz von $y_2$ zu $y_1$ und das ist wieder gleich der Strecke $y_1 z_1 - y_2 z_2$. Wir kommen also, was den Gang und die Größe der thermoelektrischen Kraft anlangt zu demselben Resultate wie früher.

Um hier den allgemeinsten Fall zu skizzieren (Fig. 5) zeichnen wir zwei beliebige Funktionen $m$ und $\mu$ so, daß ihre Ordinatendifferenz den Peltiereffekt ergibt und dann in beliebiger Höhe meine 2 Kurven für $Fe$ und $Cu$, hier $\int v\,dt$ und $\int n\,dt$ zu nennen. Die elektromotorische Kraft ist dann $(x_1 y_1 + w_1 z_1) - (x_2 y_2 + w_1 z_1)$ und Größe und Gang dieser Funktion sind genau dieselben wie im vorhergehenden einfacheren Beispiele. Fig. 3 oder 4 kann ja durch bloßes Verschieben daraus gewonnen werden.

III. Die Vorstellung, daß die elektromotorische Kraft sowohl in den Lötstellen als auch im Temperaturgefälle der Drähte sitzt (Thomson, Clausius, Budde u. a.), ergibt endlich folgende Konstruktion, wobei ich die Benennung von Budde einführe. (Siehe Fig. 6.)

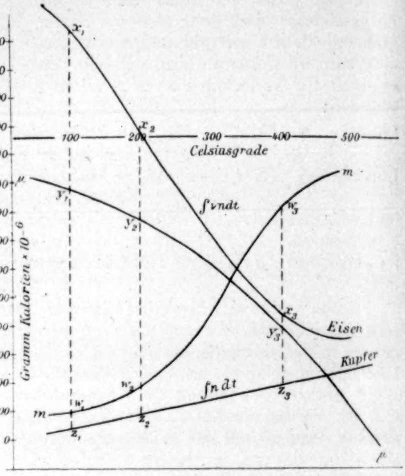



Fig. 5.

Wir zeichnen zwei beliebige Funktionen $c_a$ und $c_b$ für die spezifische Wärmeenergie der Elektrizität oder thermisch-elektrische Energie.

Dann nehme ich zwei (nicht gezeichnete) Kurven, je eine für das Potentialniveau von Eisen und Kupfer $\varphi_a$ und $\varphi_b$. Diese letzten 2 Kurven sind dadurch charakterisiert, daß $c_a - \varphi_a = \chi_a$ (thermoelektrische Kraftfunktion) und $c_b - \varphi_b = \chi_b$ als Ordinatendifferenz den

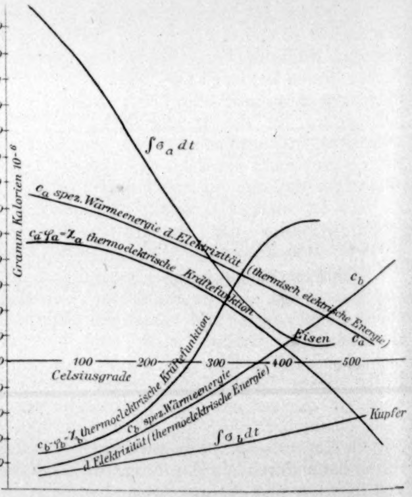



Fig. 6.

Peltiereffekt geben. Und zum Schlusse zeichne ich meine alten Eisen- und Kupferfunktionen, hier als $\int \sigma \, dT$.

Diese Vereinigung der früheren Betrachtung I und II ergibt nun genau dieselben Ordinatendifferenzen für den Gang der elektromotorischen Kräfte.

Ich komme also zu dem Schlußresultate, daß alle bisherigen Theorien der Thermoelektrizität in ihrem rein energetischen Teile (I. Hauptsatz) mit meinen Messungen des Thomsoneffektes in gleicher Weise stimmen. Das muß so sein, es ist dies wie Thomson treffend sagt, nur ein Beweis für die Richtigkeit der Messungen, nicht für die Richtigkeit irgendeiner Theorie.

Ein Punkt aber, und zwar ein Punkt von größter Wichtigkeit stimmt nicht. Meine Messungen sprechen gegen eine solche Anwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes als sei unser Prozeß ein vollkommen umkehrbarer. Thomson selbst hat bei Einführung dieses Satzes zur Vorsicht gemahnt und die so gewonnene Formel

$$\frac{dE}{dT} \cdot T = \pi$$

($E$ elektromotorische Kraft, $T$ absol. Temp., $\pi$ Peltiereffekt) will er einer weiteren experimentellen Prüfung unterworfen sehen. Boltzmann äußert sich gleichfalls ausführlich in ähnlichem Sinne.

Mein Diagramm zeigt nun für den neutralen Punkt, wo $\frac{dE}{dT} = 0$, kein Verschwinden des Peltiereffektes. Der Peltiernullpunkt liegt etwas höher. Dabei sei aber nochmals betont, daß die Kupferlinie eine in den Fig. nicht gezeichneten Krümmung nach aufwärts zeigt. Die Art meiner Messung läßt gerade diesen Punkt nicht ganz einwandsfrei darstellen.

Direkte einschlägige Messungen kenne ich in der Literatur vier. — Bausenwein hat vor etwa 2 Jahren in meinem Laboratorium den Gang des Peltiereffektes für Eisen-Kupfer und Eisen-Silber untersucht und Battelli für $Pb$ mit einer $Pb\,Sn$-Legierung und für $Pb$ mit einer $Pb\,Cd$-Legierung, wo der neutrale Punkt sehr nieder ist. — Alle Messungen ergaben nach der Meinung der betreffenden Autoren ein gleichzeitiges Verschwinden des $\pi$ und $\frac{dE}{dT}$. — Ein genaues Studium der gefundenen direkten Zahlenwerte ergibt mir aber in allen 4 Fällen, daß $\frac{dE}{dT}$ bei etwas tieferer Temperatur verschwindet als $\pi$. — Ich kann daher die Vorstellung nicht zurückweisen, daß dem wirklich so sein könnte.

Ich spreche dies mit Reserve aus, denn bestätigten weitere Messungen, die ich schon vorbereitet habe, dies Resultat, so fällt damit ein großer Teil dessen, was über Thermoelektrizität in der Literatur sich vorfindet, als unrichtig fort.

(Eingegangen 28. September 1905.)

Diskussion.

Gans: Vor kurzer Zeit ist von Lorentz diese Formel abgeleitet ohne Zuhilfenahme des zweiten Hauptsatzes aus rein kinetischen Tatsachen. Um so interessanter wäre es, wenn das Experiment zeigt, daß sie nicht stimmt.

Voigt: Ich wollte ähnliches sagen und hinzufügen, daß nach den Theorien von Riecke und Drude diese Gleichung sich nicht ergibt, was nicht zu befremden hat, da diese Theorien irreversible Vorgänge nicht ausschließen. Es hat mich um so mehr überrascht, daß bei Lorentz diese Gleichung herauskommt.

---

**Raoul Pictet (Wilmersdorf), Zur Geschichte und Theorie der Verflüssigung der Luft.**[1]

Schon im Jahre 1854 nahm William Siemens ein Patent auf ein Verfahren zur Verflüssigung der Luft, dem folgende Idee zugrunde lag: Komprimierte Luft kühlt sich bei der Entspannung ab; die entspannte und dadurch abgekühlte Luft sollte weiterer komprimierter uud durch Kühlwasser auf 0 Grad abgekühlter Luft in einem Temperaturaustauscher entgegengeführt werden, so daß diese komprimierte Luft schon vor der Entspannung kälter wurde, und bei der Entspannung sich noch weiter abkühlte. Durch Fortsetzung dieses Vorganges hoffte Siemens schließlich, bis zu so tiefen Temperaturen zu kommen, daß die Luft sich verflüssigte. Damit hat Siemens zweifellos als Erster das Gebiet betreten, das gleichsam zu dem kalten physikalischen Nordpol führt, aber seine Mittel, sowie die Mittel seiner Zeit reichten nicht aus, ihn zu erreichen.

Siemens blieb 30 Jahre ohne Nachfolger. Inzwischen wurde die Thermodynamik außerordentlich gefördert durch die Arbeiten der hervorragendsten Physiker, und speziell die Verflüssigung der sogenannten permanenten Gase erhielt einen großartigen Anstoß durch die Entdeckung des kritischen Punktes für jede Flüssigkeit von Andrews, im Jahre 1869. Um dieselbe Zeit begannen Cailletet und ebenso Pictet ihre Arbeiten, die durch stufenweise Abkühlung schließlich zur Verflüssigung der permanenten Gase führten. Ohne einander zu kennen und von einander zu wissen, verfolgten beide Forscher dasselbe Ziel und erreichten

1) Im Interesse einer möglichst vollständigen Wiedergabe der Meraner Verhandlungen bringen wir auch einen kurzen Auszug dieses Vortrages. Die Bewertung des Inhaltes können wir, zumal unter Berücksichtigung der Diskussionen, getrost dem Urteil unserer Leser überlassen. Die Redaktion.

auch auf verschiedenen Wegen ihren Zweck. Es schlossen sich an sie in den folgenden Jahren eine Reihe anderer Arbeiten, so von Wroblewsky, Olszewki, Solvay und Kamerlingh-Onnes, der zum ersten Mal im Jahre 1891 in Leiden flüssige Luft in etwas größerem Maßstabe erhielt, nämlich 6—8 Liter stündlich mit 8—10 H.P. Nicht zu übergehen sind auch die Arbeiten von Dewar, die ebenfalls auf der stufenweisen Erniedrigung der Temperatur beruhten. Ganz besonders praktisch sind die von ihm eingeführten doppelwandigen Gefäße mit evakuiertem Raume zwischen den versilberten Wänden. In diesen Gefäßen hält sich flüssige Luft sehr lange z. B. habe ich nach 22 Tagen von 5 Litern noch einen vollen Liter zur Verfügung gehabt.

In den Jahren 1895 und 96 wurde die Welt überrascht durch die Ankündigung einer ganz neuen Methode der Verflüssigung der Luft durch Herrn von Linde, dessen Maschine überaus einfach und ertragreich sei und nach einem ganz neuen Prinzip wirken sollte. Die auf 200 bis 250 Atmosphären komprimierte Luft sollte bei ihrer Entspannung auf eine Atmosphäre ohne jede Leistung von Arbeit nur auf Kosten der sogenannten inneren Arbeit sich erheblich abkühlen. Die abgekühlte Luft, in einem Temperaturaustauscher weitererer komprimierter Luft entgegengefuhrt, kühlte diese erheblich ab, so daß man bei der Entspannung sehr bald zur Verflüssigung kam. Linde verbesserte die Maschine, indem er die komprimierte Luft sich nur auf etwa 20 Atmosphären entspannen ließ, wodurch die Temperaturerniedrigung nur wenig, die Arbeit der Kompressoren bedeutend verringert wurde. Mit den Lindeschen Maschinen erhielt man 300 bis 400 g flüssige Luft stündlich per H.P.

Die von Linde gegebene Theorie seiner Maschine hat 9 Jahre lang eine fast unbestrittene Geltung in der wissenschaftlichen Welt gehabt, und doch beruht sie auf einem ganz merkwürdigem Irrtum. Linde benutzt eine vor einem halben Jahrhundert von Lord Kelvin und Joule angegebene Formel für die Temperaturerniedrigung der Luft bei ihrer Entspannung zufolge innerer Arbeit. Danach beträgt diese Temperaturerniedrigung bei $0^0$ $68{,}7^0$, bei $-141^0$, dem kritischen Punkt der Luft, $294^0$, bei $-194{,}5^0$, dem Verflüssigungspunkt der Luft, gar $423^0$. In Wirklichkeit ist aber bei der Entspannung der Luft von innerer Arbeit gar keine Rede, die Luft, welche sich gegen die Atmosphäre entspannt, muß hierbei durchaus äußere Arbeit leisten, und die durch die Leistung dieser äußeren Arbeit eintretende Temperaturerniedrigung läßt sich nach einfachen und elementaren Gesetzen der Physik sehr leicht berechnen. Sie beträgt bei der Entspannung von 250 auf eine Atmosphäre bei $0^0$ $61^0$, also beinahe so viel als auch Linde herausrechnet, bei $-141^0$ dagegen nur $29{,}5^0$, und bei $-194{,}5^0$, dem Verflüssigungspunkte der Luft, sogar nur $17{,}6^0$. Die Temperaturerniedrigung bei der Entspannung wird also mit abnehmender Temperatur beständig geringer, und nicht, wie es bei der von Linde benutzten Formel der Fall sein würde, immer größer. Hiernach ist ein experimenteller Entscheid über die Richtigkeit oder Unrichtigkeit der Lindeschen Theorie leicht möglich. Versuche mit Hülfe von Wasserstoffthermometern und Thermoelementen haben unwiderleglich gezeigt, daß die experimentellen Zahlen entgegen der Lindeschen Theorie mit denjenigen übereinstimmen, welche sich aus der Berechnung der äußeren Arbeiten ergeben. Die Lindesche Maschine stellt sich demnach lediglich als eine Ausführung der von Siemens 40 Jahre zuvor angegebenen Idee dar.

Zu bemerken ist übrigens noch, daß innere Arbeit auch schon aus dem Grunde garnicht in Frage kommen kann, weil ihre Wirkung gerade entgegengesetzt sein würde derjenigen, die Linde angibt.

Gleichzeitig oder sogar einige Wochen vor Linde ist von Hampson eine Luftverflüssigungsmaschine konstruiert worden, die in derselben Weise wirkt, wie die Lindesche, nur wird hier mit einer einzigen Entspannung bis auf eine Atmosphäre gearbeitet, nicht mit einer Entspannung bis auf 20 und von da bis auf eine Atmosphäre. In neuester Zeit ist von Pictet behufs Sauerstoffgewinnung aus flüssiger Luft in Wilmersdorf bei Berlin eine Anlage geschaffen, in welcher die flüssige Luft mit Hülfe eines Motors mit adiabatischer Entspannung nach einem neuen sehr ertragreichen Verfahren gewonnen wird, das an Leichtigkeit des Arbeitens und Ergiebigkeit alle früheren weit in den Schatten stellt.

(Eingegangen 9. Oktober 1905.)

## Diskussion.

Warburg: Ich möchte nicht länger eingehen auf eine Erörterung des Vortrages, ich muß mir aber doch erlauben, zu bemerken, daß ich wenigstens die Theorie von Linde, die er für die Verflüssigung von Luft in seiner Maschine gegeben hat, und die darauf hinausgeht, daß der Effekt der Verflüssigung durch innere Arbeit erreicht wird, auch meinerseits für richtig halte und durch die Auseinandersetzungen von Herrn Pictet darin nicht irre geworden bin.

Dann möchte ich noch die eine Frage stellen: Es müßte doch nach den Erörterungen des Herrn Pictet auch mit Wasserstoff gehen.

Pictet: Wasserstoff verhält sich auch wie

Luft, das haben Versuche von Olszewski in Krakau deutlich gezeigt.

Warburg: Was ich sagte, gründet sich gerade auf die Versuche Olszewskis, die mir wohl bekannt sind. Es kann mit Wasserstoff nicht gehen, so lange seine Temperatur oberhalb derjenigen ist, bei der Wasserstoff sich verhält wie Luft. Wenn man so tief herabgeht, geht es auch mit Wasserstoff, und das ist im Einklang mit der Theorie von Linde.

Pictet: Nein; Luft und Wasserstoff arbeiten identisch. Die inwendige Arbeit in Luft bis —150° ist Null, die äußere Arbeit erklärt die ganze Verflüssigung.

Rubens: Wo ist denn die äußere Arbeit bei der Lindeschen Maschine?

Pictet: Stellen Sie sich ein Gefäß von 1 Liter Inhalt mit Luft von 100 Atm. gefüllt vor, und diese Luft wird auf 100 Liter gebracht. Gegen was? Gegen den atmosphärischen Druck. Ist das keine äußere Arbeit? Wenn Sie das nicht äußere Arbeit nennen, weiß ich überhaupt nicht, was äußere Arbeit ist.

Voigt (Vorsitzender): Ich glaube, es sind so tiefgehende Unterschiede in der Auffassung vorhanden, daß es kaum möglich sein wird, in diesem großen Kreis in der kurzen Zeit die Frage zur Entscheidung zu bringen. Ich selbst stehe auch auf dem Standpunkt des Herrn Professor Warburg und glaube, wenn man von innerer Arbeit abstrahiert, handelt es sich im Grunde nur um den Jouleschen Versuch mit den zwei Reservoiren in einem Calorimeter, bei dem in diesem Falle auch keine Abkühlung entsteht. Aber ich glaube, es ist besser, wir diskutieren über die Frage nicht weiter.

---

**Raoul Pictet (Wilmersdorf), Über industriellen Sauerstoff, seine Herstellung und Bedeutung.**

Hat man einmal flüssige Luft, so kann man zufolge der bei der Verdampfung derselben entstandenen Kälte schon mit zwei Atmosphären Druck eine der verdampfenden gleiche Luftmenge verflüssigen, so daß flüssige Luft in großen Mengen kontinuierlich und billig herzustellen ist.[1])

Aus der flüssigen Luft verdampft zuerst Stickstoff und dann erst der Sauerstoff; man kann daher aus ihr mit Leichtigkeit Sauerstoff von beliebig hoher Reinheit erhalten und nach dem eben angedeuteten Verfahren kontinuierlich und billig, zu 1 Pfennig etwa per Kubikmeter.

Dadurch muß in einer großen Reihe von Industrien, welche Sauerstoff verbrauchen, eine wahre Umwälzung hervorgerufen werden. Ich will hier nur die Beleuchtungsindustrie anführen.

1) Daß die zuerst vorhandene Menge dabei aber verdampft vergißt der Vortragende zu erwähnen. (Die Red.)

Führt man dem Leuchtgas Sauerstoff statt Luft zu, so steigt die Temperatur bei der Verbrennung auf 3300—3400°, statt wie im Bunsenbrenner auf 1500°. Dadurch muß aber die Leuchtstärke eines Glühstrumpfes außerordentlich wachsen, steigert sie sich doch im Verhältnis der 4. Potenz der Temperatur. Ein gewöhnlicher Auerstrumpf würde freilich eine so hohe Temperatur nicht aushalten, weshalb wir auf die Herstellung besonders geeigneter Glühstrümpfe Bedacht nehmen mußten, was uns nach vielen mühseligen Versuchen auch gelungen ist.

Interessant ist auch die Konstruktion der Brenner, eine Erfindung des Herrn Rieß; durch einen einzigen geteilten Hahn hat man es in der Hand, nach Belieben dem Gas Sauerstoff zuströmen zu lassen.

(Es werden verschiedene Gasglühlicht- resp. Sauerstoffglühlichtflammen von außerordentlicher Helligkeit gezeigt und die Einzelheiten daran erläutert; erwähnt wird u. a., daß man hiermit für 1 Pfennig eine Helligkeit von 300 Kerzen eine Stunde lang haben kann.[1]))

1) Falls der Sauerstoff einmal so billig wird, wie der Vortragende oben ebenso kühn wie voreilig verspricht! (Die Red.)

(Eingegangen 9. Oktober 1905.)

**W. Voigt (Göttingen), Über die Wellenfläche zweiachsiger aktiver Kristalle und über ihre konische Refraktion.**

Das Verhalten zweiachsiger aktiver Kristalle ist bereits 1896 von einem speziellen Ansatz aus von Weder theoretisch untersucht worden, der aus seinen analytischen Betrachtungen den Schluß zog, daß aktive zweiachsige Kristalle keine konische Refraktion zeigen könnten. Damals waren natürliche zweiachsige Kristalle noch nicht bekannt; die durch Druck zweiachsig gemachten Quarze aber hätten eine konische Refraktion in merklichem Betrage, auch wenn inaktiv, nicht ergeben.

Nun ist vor wenig Jahren Pocklington der Nachweis gelungen, daß Rohrzucker eine recht merkliche zirkulare Doppelbrechung zeigt, und da innere und äußere konische Refraktion bei Zucker längst beobachtet waren, so entstand die Frage, wie diese Diskrepanz zwischen Theorie und Beobachtung zu erklären wäre. Eigene Untersuchungen über konische Refraktion führten mich zu genauerer Analyse der Wellenfläche eines aktiven zweiachsigen Kristalles, die ich, um die Unsicherheit, welche die Diskussion einer Gleichung von sehr hohem Grade bringt, zu vermeiden, zuerst auf geometrisch konstruktivem Wege vornahm. Da die Aktivität nur in der Umgebung derjenigen Richtungen merkliche Wirkungen liefert, die bei fehlender Aktivität die optischen Achsen geben, so habe ich nur diese genauer untersucht.

Die erhaltenen Resultate über die Gestalt der Wellenfläche stimmen mit einer von Pocklington gegebenen schematischen Skizze überein, liefern doch aber manche neue Züge, die die Vorstellung erleichtern und speziell die Beantwortung der Frage ermöglichen, wie sich der scheinbare Widerspruch zwischen Theorie und Beobachtung erklärt. Mir scheint diese Wellenfläche an und für sich Interesse zu besitzen, und somit will ich ihre Gestalt verständlich zu machen suchen.

Dazu ist erforderlich, in einer ganz bestimmten Weise an die Wellenfläche eines inaktiven zweiachsigen Kristalles anzuknüpfen. Wir betrachten deren Schnitt mit derjenigen optischen Symmetrieebene, welche die sogenannten Strahlenachsen enthält; er ist bekanntlich ein Kreis vom Radius $b$ und eine Ellipse von den Halbachsen $a$ und $c$, wobei $a > b > c$. Die Vektoren $A$ nach den Schnittpunkten sind die Strahlenachsen.

Eine Tangente an der gezeichneten Schnittkurve repräsentiert die zur Figurebene normale Tangentialebene an der Wellenfläche. Nach der Theorie von Fresnel gehört zu einer Wellenebene $t$ ein Strahl $\sigma$ und eine Normalengeschwindigkeit $\omega$, wie sie die Figur 1 wiedergibt.

Die Tangente $T$, die zugleich Kreis und Ellipse berührt, repräsentiert eine Tangentenebene, die die Wellenfläche in einem Kreise berührt; der Wellenebene $T$ gehört also ein ganzer Strahlenkegel zu — der Kegel der sogenannten inneren konischen Refraktion. Ihre Normale $O$ ist eine optische Achse.

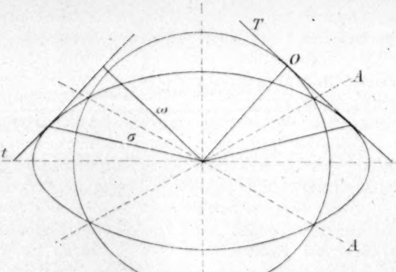



Fig. 1.

Trägt man auf jeder Richtung die Geschwindigkeiten der beiden ebenen Wellen auf, die sich längs derselben fortpflanzen, so erhält man eine zweite Oberfläche, die sogenannte Normalenfläche $N$, die zu der Wellenfläche $\varphi$ in einer bekannten geometrischen Beziehung steht. $N$ ist die Fußpunktsfläche zu den Tangentenebenen auf $S$; umgekehrt ist $S$ die Enveloppe der Ebenen, die normal auf den Radienvektoren von $N$ durch ihre Endpunkte gelegt werden können.

Dieser letztere Zusammenhang gibt den Weg, auf dem man theoretisch zur Strahlen- oder Wellenfläche $S$ eines Körpers gelangt; denn das von der Theorie primär gelieferte ist das Gesetz für die Fortpflanzung ebener Wellen, d. h. das Gesetz der Fläche $N$.

Bei einem gewöhnlichen aktiven Kristall sind die Schnittkurven der Fläche $N$ mit den optischen Symmetrieebenen bekanntlich Kreise und Ovale; in der vorhin betrachteten Ebene hat der Kreis den Radius $b$, das Oval die Halbachsen $a$ und $c$, so daß beide sich schneiden; die Vektoren nach den Schnittpunkten sind die optischen Achsen $O$.

Von Wichtigkeit ist nun die folgende Bemerkung. Die Fläche $N$, wie die Fläche $S$ läßt sich in zwei gesonderte Hüllen zerlegen, indem man sie in den Durchdringungspunkten, die auf den optischen resp. den Strahlenachsen liegen, auseinander löst. Bei der Fläche $N$ läßt man bekanntlich die so erhaltenen beiden Hüllen charakteristisch sein für die ordinäre und extraordinäre Welle; z. B. die äußere für die ordinäre, die innere für die extraordinäre, wie in der Fig. 2 angegeben, die nur einen Quadranten des Schnittes wiedergibt.

Es charakterisieren dann aber nicht etwa zugleich die beiden Hüllen der Fläche $S$ die der ordinären und der extraordinären Welle zugehörigen Strahlen, sondern zu der äußeren Hülle von $N$ gehört die äußere von $S$ abzüglich der von den Tangentenkreisen begrenzten Kegel, zu der inneren Hülle von $N$ gehört die innere von $S$ zuzüglich der von Tangentenkreisen begrenzten Kegel. Es pflan-

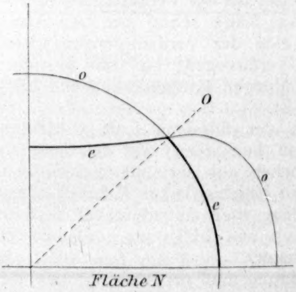



Fig. 2.

zen sich somit in gewissen Richtungen keine ordinären, aber zwei extraordinäre Strahlen fort oder umgekehrt. (In den Figuren 2 und 3

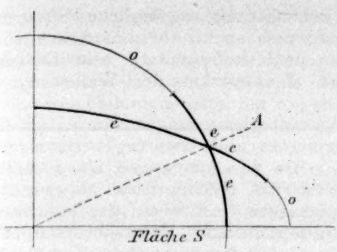



Fig. 3.

sind die einander entsprechenden Teile in gleichen Linienstärken dargestellt.)

Dies war vorauszuschicken nötig, um die Gestalt der Wellenfläche eines aktiven zweiachsigen Kristalles verständlich zu machen.

Die Fläche $N$ eines solchen weicht bekanntlich von der der inaktiven Kristalle dadurch ab, daß die innere Hülle sich von selbst von der äußeren loslöst, und dabei ihre Spitzen sich abrunden (Fig. 4); längs der sog. optischen Achsen pflanzen sich hier zwei zirkulare Wellen mit verschiedenen Geschwindigkeiten fort.

Die äußere Hülle der Fläche $S$ entsteht aus der für einen inaktiven Kristall durch die

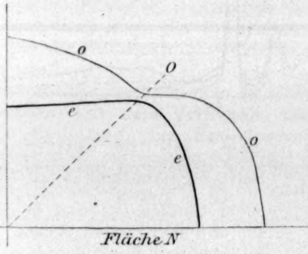



Fig. 4.

Überdeckung der Löcher, die jene hatte, durch ein nach außen konvexes Flächenstück, so daß ein durchaus nach außen konvexes Gebilde entsteht. Analog entsteht die innere Hülle durch Überdeckung der Öffnungen der Kegel durch ein nach außen konkaves Flächenstück, so daß jetzt beide Hüllen der Fläche $S$ keine Ränder mehr haben. Gleichzeitig sind die beiden Hüllen in der Gegend der optischen Achsen etwas auseinander gerückt (s. Fig. 5).

Wesentlich für das folgende ist, daß die beiden Flächenstücke, welche die Löcher in den einzelnen Hüllen der Wellenfläche inaktiver Kristalle bei aktiven Kristallen schließen, nach den von mir durchgeführten Konstruktionen, selbst bei erheblichem optischen Drehungsvermögen, äußerst schwach gekrümmt und sehr nahezu eben sind.

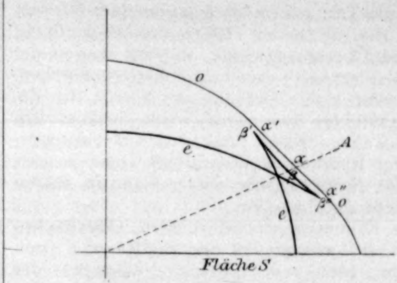



Fig. 5.

Die direkte Anschauung lehrt: beide Hüllen der Fläche $S$ werden von jeder Ebene nur in einem Punkte berührt, und da die innere konische Refraktion nur eintritt, wenn eine Ebene die Wellenfläche in einer Kurve berührt, so läßt die Theorie die innere konische Refraktion nicht zu. Die geometrische Betrachtung bestätigt also die Resultate Weders.

Trotzdem wird die Theorie durch das faktische Eintreten derjenigen Erscheinungen, die man auf innere konische Refraktion zurückführt, nicht widerlegt, denn diese Erscheinungen sind in Wahrheit gar nicht Beweise für diese Forderung der Theorie; es ist deshalb auch gar nicht richtig, daß das Lloydsche Experiment bei nicht aktiven Kristallen so, wie man sagt, eine glänzende Bestätigung der Fresnelschen Theorie liefere, — jener helle Ring (wie auch der in demselben vorhandene dunkle Kreis, den Poggendorff entdeckt hat), tritt auch ein, wenn die Theorie die konische Refraktion ausschließt. Hierin liegt, wie mir scheint, die weiterreichende Bedeutung dieser Betrachtungen.

Die Sache verhält sich so. Jederzeit benutzt die Beobachtung ein Bündel von Strahlen resp. Wellennormalen, in dem unendlich viele verschiedene Fortpflanzungsrichtungen vertreten sind. In diesem Bündel fließt nur unendlich wenig Energie streng parallel der optischen Achse; — was aus dieser einen Welle wird, ist absolut unbeobachtbar, — gleichviel, ob sie nach der Theorie einen Strahlenkegel oder nur zwei Strahlen liefert. Alle wahrnehmbaren Erscheinungen werden durch die endlichen Energiemengen hervorgerufen, die in Richtungen fließen, die von der optischen Achse abweichen, und diese liefern auch bei unendlich kleinen Winkeln in aktiven wie inaktiven Kristallen nur zwei Strahlen. Daß nun aber auch in aktiven Kristallen diese Nachbarstrahlen zusammen einen Kegelmantel — oder genauer ebenso, wie bei nicht aktiven Kristallen zwei durch einen dunklen Zwischenraum getrennte — liefern, ist leicht zu erkennen.

In der Tat: gehen wir aus von einer Wellenebene, die die beiden Hüllen der Wellenfläche in $\alpha$ und $\beta$ berühren würde, so wird wegen der großen Flachheit der benachbarten Flächenstücke eine kleine Drehung der Ebene die Berührungsstellen und somit beide Strahlenrichtungen sehr schnell (und zwar in entgegengesetzten Richtungen) verschieben; hier werden also die Strahlen sehr wenig Energie führen und nicht sichtbar sind.

Die Krümmungen der beiden Oberflächen werden viel stärker von den Stellen $\alpha' \alpha''$ und $\beta' \beta''$ an; hier geben kleine Neigungen der Wellenebene kleine Verschiebungen der Berührungsstellen, d. h. dichtere resp. intensivere und deshalb wahrnehmbare Strahlen.

Es kommen sonach nur diejenigen Teile der Oberfläche merklich zur Geltung, die sich denjenigen der Wellenfläche inaktiver Kristalle zu beiden Seiten des Berührungskreises ähnlich verhalten, und hierdurch erklärt sich die Übereinstimmung der Erscheinung mit der bei letzteren beobachteten. Eigentliche konische Refraktion bedeutet weder die eine noch die andere.

Auf die Erklärung des Poggendorffschen dunkeln Kreises soll hier nicht erneut eingegangen werden.[1])

Die äußere konische Refraktion beruht bekanntlich auf der Selbstdurchdringung der Wellenfläche $S$ in der Strahlenachse. Diese ist beim Übergang zu aktiven Kristallen erhalten geblieben, und somit führt in dieser Hinsicht auch nicht einmal die Theorie auf einen Unterschied zwischen aktiven und inaktiven Kristallen. Daß auch bei der äußeren konischen Refraktion die Benutzung eines endlichen Strahlenbündels eine wesentliche Rolle spielt, ist selbstverständlich.

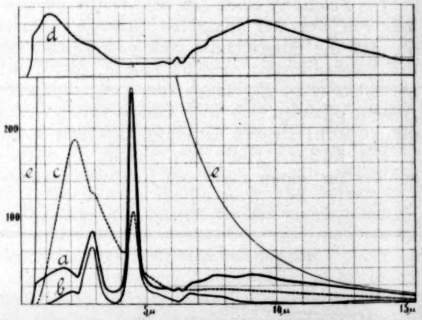
1) Dieselbe findet sich auf S. 672 dieses Bandes.

(Eingegangen 26. September 1905.)

## H. Rubens (Berlin), Das Emissionsspektrum des Auerstrumpfs.

Wiederholt habe ich auf die Tatsache hingewiesen[1]), daß der Auerbrenner und insbesondere der Auerstrumpf im Verhältnis zu seiner Gesamtemission an Wärmestrahlen von großer Wellenlänge sehr reich ist. Andererseits haben die Herren Nernst und Bose[2]) aus ihren optischen Versuchen den Schluß gezogen, daß auch die sichtbare Strahlung des Auerstrumpfs einen unverhältnismäßig hohen Bruchteil seiner Gesamtstrahlung ausmachen müsse. Es schien mir deshalb erwünscht, das gesamte der Beobachtung zugängliche Spektrum des Auerstrumpfs spektrothermometrisch zu untersuchen und insbesondere sein Emissionsvermögen als Funktion der Wellenlänge festzustellen.

Die Energiemessungen wurden mit Spiegelspektrometer und linearer Thermosäule ausgeführt. Bis $\lambda = 8\,\mu$ wurde ein Fluoritprisma, bis $18\,\mu$ ein Sylvinprisma angewandt. Die Energiekurven wurden auf das normale Gitterspektrum reduziert. Untersucht wurde: 1. ein normaler Auerbrenner ohne Zugzylinder mit Degea-Strumpf[1]), 2. derselbe Brenner ohne Strumpf, 3. derselbe Brenner mit entleuchtetem (mit Eisenoxyd überzogenem) Strumpf.[2]) Die Resultate sind in den Kurven $a$, $b$ und $c$ der folgenden Figur wiedergegeben.




Man erkennt, daß die Energiekurve des Auerbrenners ($a$) derjenigen des einfachen Bunsenbrenners ($b$) in dem Spektralgebiet zwischen $2\,\mu$ und $5\,\mu$ sehr ähnlich ist; und in dem Gebiet der kurzen und sehr langen Wellen weichen beide Kurven erheblich voneinander ab. Aus diesem Übereinstimmen beider Kurven in dem Teile des Spektrums, in welchem die starken Emissionsbanden des Bunsenbrenners liegen, ist zu schließen, daß erstens der Auerstrumpf hier ein äußerst geringes Emissionsvermögen besitzt, und daß zweitens die Masse des Strumpfs für diese Strahlen als nahezu vollkommen durchsichtig anzusehen ist. Man ist deshalb berechtigt, die Differenz der zugehörigen Ordinaten in beiden Kurven als angenäherte Werte für die Energieverteilung im Spektrum des Glühstrumpfs selbst zu betrachten. Die entsprechende graphische Darstellung liefert Kurve $d$. Der Maßstab der Ordinaten ist

1) H. Rubens, Wied. Ann. **69**, 576, 1899, ferner H. Rubens und E. Ladenburg, Ber. d. Deutsch. Phys. Ges. **7**, 171, 1905.

2) W. Nernst u. E. Bose, diese Zeitschr. **1**, 289, 1900.

1) Die Degea-Strümpfe der Auergesellschaft bestehen aus 99,2 Proz. Thoriumoxyd und 0,8 Proz. Ceroxyd.

2) Das Überziehen des Strumpfs mit Eisenoxyd wurde mittels Eintauchen in Tinte und nachherigem Ausglühen bewerkstelligt.

hierin doppelt so groß gewählt wie bei den Kurven *a*, *b* und *c*.

Sehr lehrreich ist die Betrachtung der Emissionskurve des Eisenoxydstrumpfs. Dieser wird im äußeren Flammenmantel nur rotglühend. Seine Temperatur, mit dem optischen Pyrometer gemessen, ergab sich zu 1050—1100° C. Dennoch ist seine Gesamtemission ca. doppelt so groß als die des normalen Auerstrumpfs; besonders überwiegt sein Emissionsvermögen gegenüber demjenigen des Auerstrumpfs in dem Spektralgebiet zwischen 2 und 5 $\mu$. Entsprechend ist auch seine Durchsichtigkeit für die Flammenstrahlung eine sehr geringe, wie aus dem relativ schwachen Hervortreten der Wasserdampf- und Kohlensäure-Emissionsmaxima geschlossen werden muß.

Die Temperatur des Auerstrumpfs ergab sich an der untersuchten Stelle mit Hilfe des optischen Pyrometers zu 1500—1600° C, in guter Übereinstimmung mit entsprechenden älteren Messungen der Herren Holborn und Kurlbaum.[1]) Als mittlere Temperatur wurde im folgenden $t = 1527^0$ C, also $d = 1800^0$ abs. angenommen. Zeichnet man nun die Energiekurve eines absolut schwarzen Körpers von $= 1800^0$ abs. nach der Planckschen Formel[2]) und wählt man den Maßstab der Abszissen ebenso wie bei Kurve *d*, denjenigen der Ordinaten derart, daß sich die Flächeninhalte der Kurven wie die Gesamtstrahlungen des schwarzen Körpers von 1800° abs. und des Auerstrumpfs verhalten, so kann man an jeder Stelle des Spektrums aus dem Verhältnis zweier zugehöriger Ordinaten das Emissionsvermögen des Auerstrumpfs entnehmen. Hierbei ist freilich noch zu berücksichtigen, daß der Auerstrumpf nicht aus kontinuierlicher Masse besteht, sondern netzförmige Struktur besitzt. Läßt man indessen nur den seitlichen Rand des Glühkörpers strahlen, an welchem sich die Fäden scheinbar überdecken, oder bestimmt man die Absorption des Auerstrumpfgewebes durch besondere Versuche und bringt dieselbe in Anrechnung, was zu demselben Resultat führt, so kann man experimentell das Verhältnis der Gesamtstrahlung des Auerbrenners bezw. Bunsenbrenners zu derjenigen eines schwarzen Körpers von gleicher Temperatur und Massenverteilung bezw. Struktur ermitteln. Meine Versuche ergaben, unter Berücksichtigung des Stefanschen Gesetzes, daß ein vollkommen schwarzer Körper von $= 1800^0$ abs. und der Struktur des Auerstrumpfs 32 mal so stark strahlt als dieser. Die entsprechende Energiekurve ist *e*; ihr Flächeninhalt übertrifft denjenigen von *d* um das 32 fache.

[1]) Holborn u. Kurlbaum, Ann. d. Phys. **10**, 225, 1903.
[2]) M. Planck, Ann. d. Phys. **4**, 353, 1901.

In der folgenden Tabelle sind für einige Wellenlängen die zugehörigen Ordinaten beider Kurven sowie das hieraus sich durch Division ergebende Emissionsvermögen des Strumpfs zusammengestellt.

Die Emissionsvermögen sind im Blau sehr hoch, nehmen aber nach Rot hin stark ab und betragen zwischen 1 und 5 $\mu$ weniger als 0,02, zwischen 2 und 4 $\mu$ sogar weniger als 0,01. Erst im Gebiet sehr langer Wellen, in welchem die Strahlung nur einen sehr geringen Bruchteil der Gesamtemission ausmacht, beginnen die Emissionsvermögen wieder zu wachsen und erreichen schließlich Werte, welche der 1 nahekommen. Hierdurch erklärt sich die günstige Wirkung des Auerbrenners als Strahlungsquelle bei Versuchen mit langen Wellen. Nicht nur sendet er diese Strahlen in großer Menge aus, er bietet auch den weiteren Vorteil, daß die in anderen Wärmequellen in überwiegendem Maße vorhandenen kurzwelligen Wärmestrahlen bei ihm fast vollständig fehlen. Besonders bei der Erzeugung der Reststrahlen ist diese Eigenschaft von großem Nutzen.

Aber auch für die Lichtemission des Auerstrumpfs ist der beobachtete Verlauf des Emissionsvermögens von entscheidender Bedeutung. Diese Messungen bilden eine durchgreifende Bestätigung der von den Herren Nernst und Bose aufgestellten Hypothese, nach welcher der Auerstrumpf neben seiner feinen Massenverteilung in erster Linie der geringen Gesamtemission seine hohe Temperatur verdankt. In Verbindung mit der großen strahlenden Oberfläche des Glühkörpers und seinem hohen Emissionsvermögen im sichtbaren Spektralgebiet bedingt diese hohe Temperatur von

| $\lambda$ | Schwarzer Körper bei 1800° abs. | Auer-Strumpf | Emissionsvermögen | $\lambda$ | Schwarzer Körper bei 1800° abs | Auer-Strumpf | Emissionsvermögen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,45 $\mu$ | 4,4 | 3,8 | 0,86 | 4,0 | 962 | 7 6 | 0,0079 |
| 0,50 | 16,1 | 11,5 | 0,72 | 5 0 | 511 | 7,0 | 0,0137 |
| 0,55 | 45,0 | 22,0 | 0,49 | 6,0 | 292 | 7,9 | 0,0270 |
| 0,60 | 100 | 24,0 | 0,24 | 7,0 | 178 | 15,0 | 0,0843 |
| 0,70 | 390 | 25,8 | 0,062 | 8,0 | 113 | 23,9 | 0,211 |
| 1,0 | 1830 | 34,3 | 0,0187 | 9,0 | 75,6 | 29,9 | 0,395 |
| 1,2 | 2930 | 34,3 | 0,0116 | 10,0 | 52,3 | 27,4 | 0,524 |
| 1,5 | 3740 | 34,0 | 0,0091 | 12,0 | 27,3 | 19,1 | 0,70 |
| 2,0 | 3500 | 25,5 | 0,0073 | 15,0 | 12,0 | 8,9 | 0,74 |
| 3,0 | 1910 | 17,0 | 0,0088 | 18,0 | 6,2 | 5,0 | 0,81 |

1500 bis 1600° C den bekannten günstigen Lichteffekt.

Diskussion.

Warburg: Ich möchte fragen, ob nicht auch Le Châtelier und Boudouard etwas Ähnliches gemacht haben.

Rubens: Auch sie haben auf Grund von optischen Messungen die Meinung geäußert, daß das geringe Emissionsvermögen des Strumpfs für die hohe Temperatur maßgebend ist. Ferner hat Langley Messungen über das ultrarote Spektrum des Petroleumglühlichts angestellt.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die Emissionsmaxima von Wasserdampf und Kohlensäure im Spektrum des Petroleumglühlichts deutlich hervortreten, wenn auch bei weitem nicht so stark wie bei meinen Beobachtungen. Deshalb bieten seine Energiekurven einen ganz anderen Anblick als die meinigen. Seine Messungen erstrecken sich übrigens nur bis $\lambda = 8\,\mu$, so daß der mich besonders interessierende Teil nicht mehr darauf zu sehen ist.

Warburg: Sie sagten, die Cermenge im Strumpf wird jetzt immer verkleinert. Wenn gar kein Cer darin ist, so wirkt er schlecht. Wissen Sie, welchen Einfluß diese kleinen Mengen Cer haben?

Rubens: Die Einwirkung des Cer äußert sich wahrscheinlich nur in dem kurzwelligen Teil des Spektrums. Das geht aus den erwähnten Versuchen von Langley hervor, welcher Petroleumglühlicht-Brenner mit einem Thorstrumpf und solche mit normalem Auerstrumpf untersuchte. Die beobachteten Energiekurven unterschieden sich wesentlich nur im sichtbaren Gebiet und in dem unmittelbar angrenzenden Ultrarot.

Warburg: Es interessiert mich, weil da andere Theorien noch aufgetaucht sind, welche die katalytische Wirkung hineinbringen. Das erscheint mir aber unwahrscheinlich, wie wohl auch aus den Versuchen von Nernst und Bose hervorgeht.

Bose: Die Versuche von Nernst und mir waren gerade unternommen, um die Fehler in den experimentellen Grundlagen einer solchen anderen Theorie [Bunte] richtig zu stellen. Wir haben unter anderem untersucht, ob die Emission der Auermasse dieselbe ist in einer Flamme oder wenn sie elektrisch auf dieselbe Temperatur gebracht wird. Ist dies nämlich der Fall, dann liegt keine spezifisch katalytische Wirkung vor. In der Tat bekommt man in beiden Fällen ganz dieselbe Kurve mit dem charakteristischen Knick nach dem ultraroten Spektrum hin.

Es freut mich besonders, daß unsere Annahme über den guten Lichtnutzeffekt des Auerstrumpfs durch die Versuche von Herrn Professor Rubens sich bestätigt hat, weil in dem Handbuch von Kayser (Bd. II, S. 161) die Sache bezweifelt ist, trotzdem doch die Arbeit von Le Châtelier und Boudouard damals ebenfalls vorgelegen hat.[1])

1) Nachträgliche Anmerkung: Kaysers absprechendes Urteil stützt sich im Grunde auf eine Angabe von Lummer und Pringsheim (Verh. d. d. Phys. Ges. **1**, 230, 1899), welche die Energiekurve des Auerlichtes betrifft, und die nunmehr wohl zweifellos als irrtümlich angesehen werden muß.

(Eingegangen 9. Oktober 1905.)

## E. Aschkinaß (Berlin), Elektrooptische Eigenschaften der Kohle.

Nach der elektromagnetischen Theorie des Lichtes kann man erwarten, daß gewisse Kohlenarten, denen eine hohe elektrische Leitungsfähigkeit zu eigen ist, für Strahlen großer Wellenlängen ein bedeutendes Reflexionsvermögen aufweisen werden, sofern wenigstens der Durchgang der Elektrizität durch diese Substanzen in derselben Weise erfolgt wie bei den Metallen. Diesbezügliche Versuche zeigten zunächst, daß die gutleitenden Kohlen (z. B. Gaskohle, Siemenssche Lampenkohle, Graphit) im Gebiete der Hertzschen Wellen im Einklange mit der Theorie tatsächlich ein Reflexionsvermögen von nahezu 100 Prozent besitzen. Der Einfluß des Leitungsvermögens gibt sich aber bereits in dem gesamten ultraroten Spektrum unzweideutig zu erkennen. Die Reflexionskurve beginnt nämlich (in guter Übereinstimmung mit der Theorie) unmittelbar hinter dem sichtbaren Spektralgebiete stark anzusteigen, und die Zunahme der Reflexionswerte setzt sich durch das ganze ultrarote Spektrum bis in das Gebiet der Hertzschen Wellen hinein stetig fort. So beträgt z. B. für polierte Gaskohle vom spezifischen Widerstand 75,8, das prozentische Reflexionsvermögen bei $\lambda = 0{,}589\,\mu$: 4,4, bei $\lambda = 4\,\mu$: 22,4 und bei $\lambda = 51{,}2\,\mu$: 56,5.

Außer den genannten Kohlensorten wurde auch Anthrazit untersucht. Dieser zeigte ein wesentlich anderes Verhalten: sein Reflexionsvermögen steigt zwar gleichfalls schon im Anfange des Ultrarot bis auf mehr als 10 Prozent, erreicht aber bei $51{,}2\,\mu$ nur den Wert 14 und behält diesen Wert auch noch im Gebiete der Hertzschen Wellen. Da der Anthrazit ebensowenig wie eine der übrigen Kohlenarten Eigenschwingungen besitzt, die dem ultraroten Spektralbereiche angehören, so weisen jene Beobachtungen bereits darauf hin, daß sein elektrisches Leitungsvermögen sehr gering sein muß, und tatsächlich ergaben die Messungen für seinen spezifischen Widerstand die Zahl $2 \times 10^{10}$. Demgemäß besitzt er auch eine gute Durchlässigkeit für Hertzsche Wellen, und der Grenzwert seines Brechungsexponenten berechnet sich aus

der Reflexion zu $n_\infty = 2,2$. Bekanntlich ist für Diamant $n_D = 2,4$.

Diskussion.

Schmidt: Ich möchte Herrn Aschkinaß zur Bestätigung seiner Versuche mitteilen, daß die Dielektrizitätskonstante von Diamant von mir bestimmt ist, sie ergab sich zu 5,5, was sehr gut mit diesen Versuchen übereinstimmt. Die Arbeit ist vor zwei Jahren veröffentlicht.

Lecher: Ich möchte fragen, wie ist denn die Kohle glatt gemacht? Für einen Nichtfachmann, der auf diesem Gebiet nicht gearbeitet hat, entsteht der Zweifel, ob dieses Ansteigen nicht dadurch hervorgebracht ist, daß wenn die Wellen länger werden, die Unebenheiten der Oberfläche zurücktreten und dadurch die Reflexion wächst.

Aschkinaß: Dieser Effekt muß unter Umständen gewiß berücksichtigt werden, er kommt aber im vorliegenden Falle nicht in Betracht. Denn die Kohlen, an denen die Versuche angestellt wurden, hatten eine vorzügliche Politur erhalten; sie lieferten selbst für sichtbare Strahlen optisch vollkommene Spiegelbilder. Es gibt freilich auch Kohlensorten, die sich nicht blank polieren lassen, z. B. Graphit. An solchen Materialien sind daher auch im sichtbaren und ultraroten Gebiete keine Messungen angestellt worden.

(Eingegangen 9. Oktober 1905.)

**Stéphane Leduc (Nantes), Die Diffusion der Flüssigkeiten.**

Seit den Versuchen von Graham nimmt man in der Wissenschaft an, daß die Diffusion der Flüssigkeiten in den kolloidalen Lösungen ebenso schnell wie in den wässerigen vor sich geht. Diese Annahme ist irrtümlich [1]), wie man leicht durch die folgenden Versuche erkennen kann. Man gießt über Glasplatten Leimlösungen mit einer Spur von Phenophthalein, bereitet so Schichten aus Leimkonzentrationen zu 2, 5, 10, 20, 40 Proz. Leimgehalt und gießt auf jede Schicht einen Tropfen der nämlichen Natronlauge oder Kalilauge. Die Diffusion zeigt sich durch die rote Färbung und man beobachtet, daß je verdünnter die kolloidale Lösung ist, desto schneller die roten Kreise sich verbreiten.

1) In Wirklichkeit liegt die Sache so, daß für geringe Konzentrationen von Gelatine oder dergl. die Annahme in Wirklichkeit sehr nahe erfüllt ist, während für Konzentrationen von 20 oder gar 40 Proz. Leim, wo das Medium total geändert ist, sicher niemand ernstlich an die Gültigkeit derselben glaubt. D. Red.

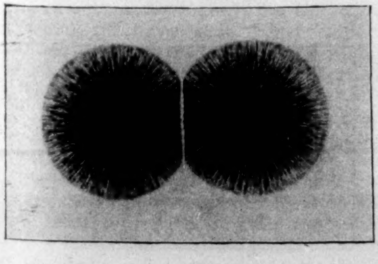


Fig. 1. Diffusionskraftfeld zwischen zwei gleichnamigen Polen.

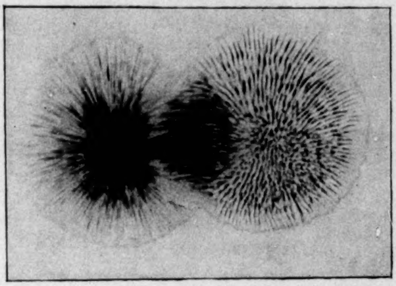


Fig. 2. Diffusionskraftfeld zwischen zwei ungleichnamigen Polen.

Man kann denselben Versuch machen mit Tropfen von Säure auf Schichten von alkalischem Leim gefärbt mit Phenophthalein.

Man kann auf Schichten von Leim mit verschiedenen Konzentrationen in gleichen Entfernungen einen Tropfen Kupfersulfatlösung und einen Tropfen Ferrocyankalilösung gießen. Bei der Diffusion entsteht zwischen den zwei Tropfen eine Wand von braunem Kupferferrocyanür, und je konzentrierter die Leimlösung ist, desto später wird diese Ferrocyankupferwand erscheinen.

Die Diffusion geht vor sich gerade so wie

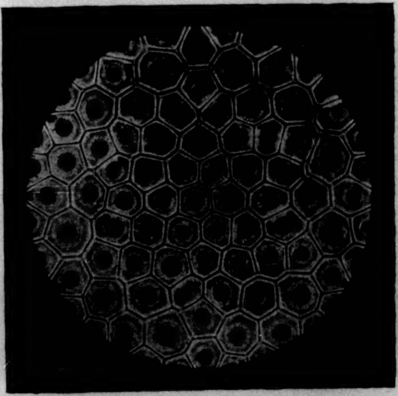


Fig. 3. Zellen bei Diffusion hergestellt.

der elektrische oder magnetische Strom. Die Spannungsunterschiede sind die Unterschiede des osmotischen Druckes, wie Prof. Nernst gezeigt hat, die Geschwindigkeit der Diffusion ist mit der Stromstärke vergleichbar und die

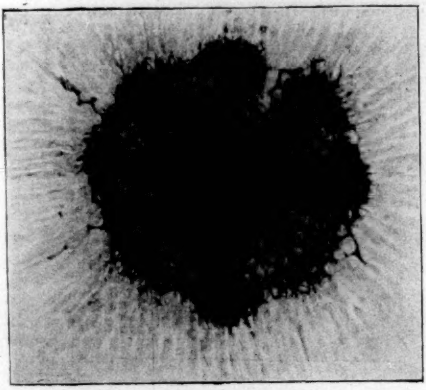


Fig. 4. Segmentierung der Flüssigkeiten.

Größe, die bis jetzt für die Diffusion nicht betrachtet war, ist der Widerstand der verschiedenen Flüssigkeiten gegen die Diffusionsvorgänge. Dieser Widerstand unterscheidet sich von dem elektrischen insofern, als er sich nicht nur für die verschiedenen Flüssigkeiten ändert, sondern auch bei derselben Flüssigkeit verschieden ist für die verschiedenen diffundierenden Stoffe.

Was nun die Diffusion betrifft, so verhalten sich die Membranen gerade so wie die Kolloide, sie setzen den Diffusionsvorgängen einen Widerstand entgegen und die Widerstände sind verschieden für die verschiedenen diffundierenden Stoffe.

Die Analogie zwischen Diffusion und elektrischen und magnetischen Vorgängen geht weiter. Ein Tropfen Wasser in einer Salzlösung verursacht Diffusion, Wasser geht aus dem Tropfen in die

Fig. 5. Karyokinese Figuren durch Diffusion in einer Kochsalzlösung hergestellt.

Lösung, der gelöste Stoff geht in den Tropfen hinein. Wenn der Tropfen Wasser mit Tusche gefärbt ist, so werden die Vorgänge sichtbar und ich habe sie photographieren können. Diese Photographien sind ganz analog denjenigen von magnetischen Kraftfeldern, und man kann einen Tropfen Wasser in einer Salzlösung wie einen negativen Diffusionspol betrachten, der um sich ein Diffusionskraftfeld verursacht. Ein Tropfen Lösung in Wasser wird einen positiven Diffusionspol vorstellen und mit Tusche konnte ich alle Kraftfelder zwischen gleichnamigem und un-

Fig. 6. Wachstum an künstlicher Zelle.

gleichnamigem Diffusionspol herstellen und photographieren (Fig. 1 u. 2) und weiter erkennen, daß zwischen diesen Diffusionspolen dieselben dynamischen und kinetischen Beziehungen herrschen, wie zwischen magnetischen und elektrischen Polen.

Wenn mehrere gleichnamige Diffusionspole nebeneinander in einer Flüssigkeit sind, so stoßen sie einander ab und bilden so polyedrische Zellen analog den lebenden Zellen mit derselben Gestalt, denselben Organen, Membran, Cytoplasma, Kern etc. und denselben doppelten Diffusionsvorgängen in jede Zelle hinein und aus derselben heraus (Fig. 3).

Wenn man flüssige Zellen aufbewahrt, so zerteilt sich der Inhalt der Zellen in flüssige Körnchen, die wir haben photographieren können. Diese Segmentierung (Fig. 4) der Flüssigkeiten bei langsamen Diffusionsbewegungen ist durch den Unterschied der Kohäsion zwischen den verschiedenen Molekülen der Lösung erklärbar, die Moleküle, welche einander am stärksten an-

Fig. 7. Wachstum der künstlichen Zelle.

ziehen, ziehen sich zusammen zu kleinen Kügelchen, die anderen bilden die Wände.

Mit der Kenntnis der Diffusionspole kann man den Vorgang und die Figuren der Karyokinese nachahmen und die Figuren photographieren (Fig. 5).

Wenn man einen Tropfen gesättigter Zuckerlösung mit einer Spur Blaulaugensalz in Wasser mit Kupfersulfatzusatz gießt, so umwickelt sich der Tropfen mit einer Membran Kupferferrocyan und man hat die Traubesche Zelle, aber diese Zelle, so hergestellt, wächst langsam, so daß sie nach einigen Stunden einen Stamm mit Ästen zeigt, den man photographieren kann (Fig. 6 und 7). Durch das Wachsen ist die ganze Gestalt zehn- bis zwanzigmal so groß wie die Urzelle geworden.

(Eingegangen 7. Oktober 1905.)

---

## Leo Grunmach (Berlin), Versuche über die Diffusion von Kohlensäure durch Kautschuk.

Meine Herren! Die Versuche, über welche ich mir erlauben möchte, Ihnen zu berichten, sind direkt aus der Praxis heraus veranlaßt worden durch eine Berliner Installationsfirma für Heizungs- und Ventilationsanlagen, welche, um die praktische Verwertbarkeit eines neuen, durch Patent geschützten Verfahrens zur Reinigung der verbrauchten Luft in geschlossenen Räumen zu prüfen, sicherer numerischer Angaben für die Werte der Diffusionsgeschwindigkeiten gewisser Gase durch Kautschuk benötigte. Die neue Methode, welche es ermöglichen sollte, die Reinigung der Zimmerluft ohne Anwendung von Ventilatoren, also bei Vermeidung jeglicher Zugluft, durch Fortschaffung der Kohlensäure und anderer schädlicher Gase und Dämpfe, wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Stickoxyd und der Dämpfe gewisser Fettsäuren zu erreichen, beruht nämlich auf der zuerst von Mitschel entdeckten und genauer von Graham untersuchten Eigenschaft des Kautschuks, Kohlensäure in hohem Maße durchdiffundieren zu lassen, dagegen Sauerstoff und Stickstoff fast vollkommen zurückzuhalten. Diese für Kohlensäure experimentell nachgewiesene Eigenschaft des Kautschuks glaubte der Patentinhaber auch auf die erwähnten Gase und Dämpfe übertragen zu dürfen. Es war demgemäß in Aussicht genommen, an geeigneten Stellen in die Wände der Innenräume der Gebäude (Krankenhäuser, Kasernen, Schulen) Kautschukplatten einzulassen, welche entweder vollständig eben, oder aber, um auf beschränktem Raume einen größeren Effekt zu erzielen, in einer eine größere Oberfläche bietenden Form hergestellt und nach innen wie nach außen mit geeigneten Schutzvorrichtungen gegen mechanische sowohl wie atmosphärische schädliche Einflüsse gesichert werden sollten. Von diesen Erwägungen und Absichten ausgehend, richtete die erwähnte Firma an mich die Bitte, durch exakte, quantitative Messungen festzustellen, inwieweit die neue Methode zunächst einmal zur Fortschaffung der wichtigsten Verunreinigung der Luft, der Kohlensäure, geeignet wäre, d. h. numerisch festzustellen, welche Mengen von Kohlensäure durch die Flächeneinheit verschiedener Kautschuksorten in einer bestimmten Zeit unter den günstigsten Verhältnissen hindurchgingen, und welche Sorte und Dicke derselben sich als die geeignetste für die Praxis erweisen würde.

Wenn mir nun zwar auch von vornherein das neue Verfahren, wie ich sofort erklärte, wenig aussichtsvoll für eine praktische Verwertung erschien [1]), so ließ ich mich doch aus eigenem wissenschaftlichen Interesse dazu bewegen, Versuche nach dieser Richtung anzustellen, zumal Werte für die Diffusionsgeschwindigkeit der Gase nur für äußerst dünne Kautschukmembranen, wie sie etwa für die als Spielzeug dienenden Kautschukballons benutzt werden, bekannt sind, dagegen Angaben für die Diffusionsgeschwindigkeit durch dickere Kautschukmembranen in der Literatur gänzlich fehlen.

Sowohl die älteren Untersuchungen von Mitchel [2]) und Graham [3]), als auch in der neueren Zeit diejenigen von v. Wroblewski [4]) und von Kayser [5]) beschränken sich auf die Diffusion der Kohlensäure durch Seifenblasen und durch sehr dünne Kautschukmembranen (von einigen Hundertsteln bis im Maximum von 0,1 mm Dicke); diese Versuche sind wohl theoretisch von Interesse, in der Praxis aber

---

1) Rechnet man auf Grund der gewonnenen, später mitzuteilenden Werte der Diffusionsgeschwindigkeiten aus, welche Kautschukoberflächen erforderlich wären, um nur die von einer einzigen Person ausgeatmete Kohlensäure aus einem Zimmer fortzuschaffen, so ergibt sich schon auf den ersten Blick, daß die in jenem Patent vorgeschlagene Methode praktisch unausführbar ist. Um z. B. die von einem einzigen 10jährigen Mädchen ausgeatmete Kohlensäuremenge, welche nach Scharling (vgl. H. Rietschel, Leitf. z. Berechn. u. Entwerf. von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen, S. 5, 1893) 9700 ccm pro Stunde beträgt, dauernd zu entfernen, wäre bei Anwendung einer 0,6 mm dicken Membran schon eine Oberfläche von 48,5 qm erforderlich, und um die von einem einzigen 28jährigen Manne ausgeatmete Kohlensäuremenge, nach Scharling 18000 ccm pro Stunde (nach Pettenkofer noch etwas mehr), fortzuschaffen, eine Oberfläche der Membran von 93,0 qm. Hierbei ist nun aber eine Partialdruckdifferenz von 760 mm angenommen. Da aber die wirkliche Partialdruckdifferenz der Kohlensäure innerhalb und außerhalb eines Zimmers nur eine minimale ist, so folgt sofort, daß die angegebenen, an sich schon unausführbaren Kautschukoberflächen noch ins Ungeheuerliche vergrößert werden müßten.

2) Mitchel, Journ. of the Roy. Inst. **2**, 101, 307. London 1831; ferner Pogg. Ann. **129**, 550, 1866.

3) Graham, Pogg. Ann. **129**, 549, aus Phil. Trans. 1866.

4) v. Wroblewski, Pogg. Ann. **158**, 539, 1876. Wied. Ann. **8**, 29, 1880.

5) Kayser, Wied. Ann. **43**, 544, 1891. Vgl. auch Rebenstorff, Abh. d. naturw. Ges. Isis, S. 26. Dresden 1904.

können so dünne Kautschukmembranenen wegen ihrer geringen Dauerhaftigkeit für den vorliegenden Zweck nicht verwertet werden.

Es erschien mir deshalb wünschenswert und nicht unwichtig, diese Lücke auszufüllen und auch für Kautschukmembranen beträchtlicherer Dicke, solcher z. B., wie sie unsere gewöhnlichen Gaszuleitungsschläuche besitzen, Werte für deren Diffusionskonstanten festzustellen.

Meine Versuche wurden angestellt an käuflichen, vulkanisierten braunen und grauen Kautschukplatten verschiedener Dicke, zwischen 0,15 und 2,4 mm, nach folgender Messungsmethode: Ich hatte mehrere halbkugelförmige Glasgefäße von gleicher Form und Größe anfertigen lassen, die an zwei gegenüberliegenden Seiten mit durch Glashähne verschließbaren Ansätzen versehen, und deren Grundflächen in möglichst plan gearbeitete Metallfassungen eingekittet waren (Fig. 1). Auf die ringförmigen planen Grundflächen wurden die Kautschuk-

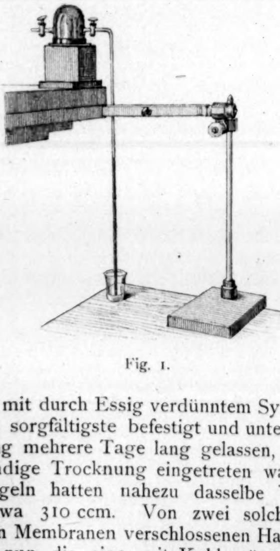


Fig. 1.

platten mit durch Essig verdünntem Syndetikon auf das sorgfältigste befestigt und unter starker Pressung mehrere Tage lang gelassen, bis eine vollständige Trocknung eingetreten war. Alle Halbkugeln hatten nahezu dasselbe Volumen von etwa 310 ccm. Von zwei solchen, mit gleichen Membranen verschlossenen Halbkugeln wurde nun die eine mit Kohlensäure gefüllt, die teils direkt aus dem Kohlensäureentwicklungsapparat, teils unter Vorschaltung von Trockenröhren mehrere Stunden vor dem Beginn der Versuche hindurchströmte, während die zweite Halbkugel mit der im Beobachtungszimmer enthaltenen Luft gefüllt wurde. Die so unter Atmosphärendruck gefüllten und durch die Hähne verschlossenen Halbkugeln wurden dann auf einer Stückrathschen mit automatischer Vertauschungsvorrichtung versehenen Präzisionswage in geeigneten Zeitintervallen, welche anfänglich nur wenige Stunden betrugen und später auf einen ganzen Tag ausgedehnt wurden, erstens einer relativen Gewichtsvergleichung unterzogen, wobei also stets die mit Luft gefüllte Halbkugel als Tara diente, und die durch die Diffusion bewirkten Gewichtsabnahmen durch Zulagegewichte bestimmt wurden; zweitens wurden unmittelbar hernach noch absolute Wägungen der beiden Halbkugeln, natürlich stets unter Berücksichtigung der jeweiligen meteorologischen Verhältnisse, ausgeführt.

An dieser Stelle möchte ich gleich erwähnen, daß sich auf diese Weise die Diffusionsvorgänge im Kautschuk leicht und bequem in einem Vorlesungsexperiment demonstrieren lassen. Wenn man nämlich die mit Luft und mit Kohlensäure gefüllten Halbkugeln, mit ihren anfänglich planen Kautschukmembranen gegeneinander gepreßt, einige Zeit lang stehen läßt und hernach wieder trennt, so findet man die Kautschukmembran der mit Kohlensäure gefüllten Halbkugel konkav (d. h. nach innen), die der mit Luft gefüllten konvex (also nach außen) gewölbt, zum Beweise, daß die Kohlensäure aus dem mit Kohlensäure gefüllten Gefäße heraus- und in das mit Luft gefüllte hineindiffundiert ist. Die Druckverringerung im Kohlensäuregefäße, sowie der Überdruck im luftgefüllten Gefäße läßt sich dann leicht durch eine seitlich anzubringende Manometerröhre demonstrieren. Die Manometerröhre in Fig. 1 zeigt die Druckverminderung im Kohlensäuregefäße, für das Luftgefäß ist sie natürlich U-förmig zu wählen.

Mittels eines gleichgroßen dritten, mit Kohlensäure gefüllten und mit einer gleichen Membran verschlossenen Gefäßes wurden auf diese Weise die infolge der Diffusion bewirkten Druckänderungen im Kohlensäuregefäße gemessen.

Die Ergebnisse meiner bisherigen Versuche weichen nun in vieler Hinsicht von denen der genannten Forscher in nicht unerheblichem Maße ab. Zwar lassen sich unsere Versuche insofern gar nicht direkt miteinander vergleichen, als sie sich ja nicht auf identisches Material beziehen. Die von mir benutzten Membranen bestanden nicht aus reinem Parakautschuk, sondern, wie erwähnt, aus zwar frischem, aber nicht genügend definierten käuflichen Kautschuk, dem stets je nach der Qualität mehr oder weniger fremde Beimengungen zugesetzt sind, welche die Diffusionsfähigkeit beeinflussen können. Auch meine Vorgänger haben nur mit käuflichem, nicht genügend definierten Kautschuk gearbeitet; v. Wroblewski hebt sogar in seiner vorhin zitierten Arbeit hervor, daß die von ihm angewandten Membranen nicht aus frischem Kautschuk hergestellt waren,

sondern aus solchem, welcher länger als vier Jahre im Straßburger physikalischen Institut aufbewahrt worden war und sowohl Geruch wie Aussehen frischen Kautschuks vollständig verloren hatte. Dazu kommt, daß bei den Versuchen von v. Wroblewski und von Kayser die sehr dünnen Membranen nicht in ihrem natürlichen Zustande zur Verwendung kamen, sondern daß sie in der Weise hergestellt wurden, daß eine dickere (bei v. Wroblewski eine 0,33 mm, bei Kayser eine 0,25 mm dicke) Membran bis nahe an ihre Zerreißungsgrenze gespannt wurde, wodurch zweifelsohne ihre Homogenität gefährdet und die ursprünglichen molekularen Verhältnisse geändert werden können. So erklärt es sich vielleicht, daß der von mir gefundene absolute Wert für die Diffusionsgeschwindigkeit von Kohlensäure durch eine 0,15 mm dicke Kautschukmembran selbst in der Größenordnung nicht übereinstimmt mit dem von Kayser für eine Membran gleicher Dicke gefundenen. Während Kayser findet, daß durch 1 Quadratzentimeter derselben pro Minute 0,00357 ccm Kohlensäure diffundieren, ergibt sich aus meinen Versuchen für dieselben Verhältnisse eine 10mal kleinere Diffusionsmenge, nämlich 0,000379 ccm.

Es erscheint fraglich, ob man überhaupt die für den Vorgang der Diffusion von Gasen durch Kautschuk übliche Vorstellungsweise, deren Theorie Stefan [1]) zunächst für die Diffusion von Kohlensäure durch Flüssigkeitschichten unendlicher und dann endlicher Länge gegeben hat, ohne weiteres auch auf sehr dünne Membranen anwenden darf. Man faßt bekanntlich den Vorgang der Diffusion von Gasen durch Kautschuk nicht auf als gewöhnliche Diffusion durch eine poröse Scheidewand, sondern man nimmt an, daß die Seite der Kautschukmembran, welche mit der Kohlensäure in Berührung ist, eine bestimmte, von Druck und Temperatur abhängige Menge Kohlensäure absorbiert, daß diese sich dann in der Membran nach Art der Wärmebewegung fortpflanzt und an der anderen Membranseite je nach dem dort herrschenden Partialdruck freigegeben wird. Bedeutet $k$ den Diffusionskoeffizienten, $o$ die Oberfläche der Membran, $d$ ihre Dicke, $p-p'$ die Differenz der Partialdrucke an beiden Seiten der Membran, oder die dieser Differenz proportionale Differenz der Absorptions-(Sättigungs-)mengen, $t$ die Zeitdauer des Durchganges, so berechnet sich die diffundierte Gasmenge $Q$ nach der Formel

$$Q=\frac{k\cdot o\cdot(p-p')}{d}\,t.$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Diffusion so langsam erfolgt, daß jede der beiden Grenzschichten die Kohlensäuremenge enthält, die dem auf ihrer Seite herrschenden Partialdrucke entspricht, daß also die der Kohlensäureatmosphäre zugewendete Seite der Membran mit Kohlensäure gesättigt ist, die der freien Atmosphäre ausgesetzte praktisch die Absorptionsmenge Null hat. Dies kann aber wohl für sehr dünne Membranen, wie sie v. Wroblewski und Kayser anwandten, nicht mehr mit Sicherheit angenommen werden, weil infolge der hier stattfindenden sehr schnellen Diffusion die eine Grenzschicht nicht schnell genug frische Kohlensäure aufnehmen kann, um stets gesättigt zu bleiben, die andere die Kohlensäure nicht schnell genug abgeben kann, als daß man für sie die Absorptionsmenge Null annehmen könnte.

Bei meinen mit dickeren Membranen angestellten Versuchen erscheint diese Annahme schon eher berechtigt; die Differenz der Partialdrucke war hier stets gleich dem absoluten, im Kohlensäuregefäße herrschenden Drucke der Kohlensäure, weil der Partialdruck der Kohlensäure auf der der freien Atmosphäre zugekehrten Membranseite gleich Null zu setzen ist, und ein Hineindiffundieren von Luft in das Kohlensäuregefäß in nachweisbarer Weise nicht stattfand.

Es ergibt sich aus meinen Versuchen, daß die Diffusionsgeschwindigkeit der Kohlensäure durch Kautschuk mit zunehmendem Drucke, allgemeiner mit der Zunahme der Differenz der Partialdrucke zwar zunimmt, daß aber Proportionalität zwischen Diffusionsgeschwindigkeit und Druckdifferenz nicht besteht; und weiter zeigen meine Versuche, daß die Diffusionsgeschwindigkeit mit der Dicke abnimmt, aber nicht umgekehrt proportional derselben. So ergibt sich z. B. aus der folgenden Reihe, die als Mittel aus mehreren, je sieben Tage lang durchgeführten Beobachtungsreihen gewonnen ist, daß durch eine frische, braune Kautschukmembran von 0,6 mm Dicke, deren wirksame Fläche 43,942 qcm betrug (Radius der wirksamen Fläche 3,74 cm), unter mittleren meteorologischen Verhältnissen pro Quadratzentimeter diffundierten

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| während | des | 1. | Tages | pro | Stunde | 0,02142 | ccm | Kohlensäure |
| " | " | 2. | " | " | " | 0,01853 | " | " |
| " | " | 3. | " | " | " | 0,01274 | " | " |
| " | " | 4. | " | " | " | 0,00857 | " | " |
| " | " | 5. | " | " | " | 0,00567 | " | " |
| " | " | 6. | " | " | " | 0,00394 | " | " |
| " | " | 7. | " | " | " | 0,00313 | " | " |

Die Zahlen gelten unter der nicht zutreffenden Voraussetzung, daß die Membran während des Diffusionsvorganges eben bleibt. Sie wird aber tatsächlich mit zunehmender Diffusion infolge des atmosphärischen Überdruckes vergrößert, nämlich nach innen gekrümmt nach

1) Stefan, Wiener Ber. **77**, 371, 406, 1878.

Form einer Kugelkalotte, deren Mantelfläche $\pi(r^2 + h^2)$ ist, wenn $r$ den Radius (3,74 cm) und $h$ die Höhe der Kalotte bedeutet (im Mittel angenommen nach dem 1. Tage 1,0 cm, nach dem 2. Tage 1,7 cm, nach dem 3. Tage 2,3 cm, nach dem 4. Tage 2,6 cm, nach dem 5. Tage 2,7 cm und dann konstant).

Unter dieser Annahme ergibt sich, wenn man zunächst die Dickenänderungen der Membran vernachlässigt, daß pro Quadratzentimeter der Membran bei mittlerer Krümmung

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| währ. d. 1. Tag. | pr. Std. | 0,02071 | ccm | Kohlensäure | diffundieren |
| „ 2. „ | „ | 0,01632 | „ | „ | „ |
| „ 3. „ | „ | 0,00989 | „ | „ | „ |
| „ 4. „ | „ | 0,00599 | „ | „ | „ |
| „ 5. „ | „ | 0,00378 | „ | „ | „ |
| „ 6. „ | „ | 0,00262 | „ | „ | „ |
| „ 7. „ | „ | 0,00208 | „ | „ | „ |

Berücksichtigt man endlich noch die durch die Krümmung der Membran bewirkte Dickenänderung derselben, so ergibt sich schließlich, daß pro Quadratzentimeter der Membran diffundierten:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| während des 1. Tages | pro Stunde | 0,02000 | ccm | Kohlensäure |
| „ „ 2. „ | „ „ | 0,01434 | „ | „ |
| „ „ 3. „ | „ „ | 0,00765 | „ | „ |
| „ „ 4. „ | „ „ | 0,00418 | „ | „ |
| „ „ 5. „ | „ „ | 0,00252 | „ | „ |
| „ „ 6. „ | „ „ | 0,00172 | „ | „ |
| „ „ 7. „ | „ „ | 0,00137 | „ | „ |

Fig. 2 enthält die graphische Darstellung dieser Beobachtungsreihe, die Abszissen stellen die Zeit in Tagen und Stunden, die Ordinaten die aus den beobachteten Gewichtsabnahmen unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse berechneten Diffusionsmengen in Kubikzentimeter pro Stunde und Quadratzentimeter Oberfläche dar, und zwar in Kurve I für den Fall, daß die Membran eben angenommen wird; in Kurve II ist die Oberflächenänderung der Membran infolge der Krümmung und in Kurve III auch noch die Dickenänderung der Membran berücksichtigt.

Zur Berechnung und graphischen Darstellung sei noch Folgendes bemerkt:

Die Ordinaten der Kurven I, II, III stellen die mittleren Diffusionsmengen Kohlensäure pro Stunde und Quadratzentimeter Querschnitt während des 1., 2., 3. usf. Tages dar. Die Diffusionsgeschwindigkeit nimmt infolge des allmählich abnehmenden Gasdruckes mit der Zeit ab. Hätte die Diffusionsgeschwindigkeit gleichförmig abgenommen, so würden diese Diffusionsmengen genau dieselben sein, die in der Mitte eines jeden Tages pro Stunde durch die Flächeneinheit der Membran hindurchgingen. (Die Diffusionsgeschwindigkeit zu irgendeiner Zeit ist die Tangente in dem betreffenden Punkte einer Kurve, welche die gesamte diffundierte Menge Kohlensäure in Funktion der Zeit darstellt.) Die Höhe $h$ der Kugelkalotte ist stets am Ende des betreffenden Tages gemessen: es gelten

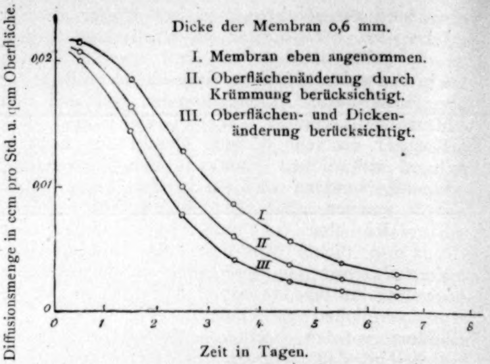



Fig. 2.

also auch die mit den Höhen $h_0$, $h_1$, $h_2$ berechneten Mantelflächen, welche der Reihe nach die Werte haben 43,942 qcm, 47,1, 53,05, 60,55, 65,2, 65,85, 66,85 qcm, für das Ende des betreffenden Tages. Da aber die Kurven die Diffusionsmengen für die Mitte eines jeden Tages angeben, so ist auch stets mit dem Werte der Mantelfläche gerechnet, welcher dem Mittel aus dem Anfangs- und Endwerte für den betreffenden Tag entspricht. Dieselbe Betrachtung gilt auch für die Berechnung der Dicke $\delta$ der gekrümmten Membran. Ist $M$ die Größe der Mantelfläche, so ist angenähert, da der ursprüngliche Wert der Mantelfläche $M_0 = 43{,}942$ qcm, und der ursprüngliche Wert ihrer Dicke $\delta = 0{,}6$ mm ist,

$$\delta \cdot M = 0{,}06 \cdot 43{,}942, \text{ also } \delta = 0{,}06 \cdot \frac{43{,}942}{M}$$

Die Kurve II gibt nun die Diffusionsmenge $Q_2$ für eine Membran von der Dicke $\delta$.

Durch eine Membran von der ursprünglichen größeren Dicke von 0,06 cm würde also nur die Diffusionsmenge hindurchgehen

$$Q_3 = \frac{0{,}06 \cdot \frac{43{,}942}{M}}{0{,}06} \cdot Q_2 = \frac{43{\cdot}942}{M} \cdot Q_2.$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daß $\frac{Q_3}{Q_2} = \frac{\delta}{0{,}06}$, daß also innerhalb der engen Grenzen die Diffusionsmenge umgekehrt proportional der Dicke der Membran ist. Die Diffusionsmengen $Q_3$ werden durch die Kurve III dargestellt.

Der Verlauf dieser Kurve und ihrer entsprechenden Zahlenreihe zeigt, daß die Diffusionsgeschwindigkeit mit der Zeit abnimmt. Anfänglich, d. h. im Beginne der Versuchsreihe, nimmt die Diffusionsgeschwindigkeit — was aus der Kurve nicht ersichtlich ist, da sie nicht den Beginn der Diffusion, sondern erst die Tagesmittel der Diffusionsgeschwindigkeit

darstellt — stets zu, wahrscheinlich, bis die Membran vollständig von Kohlensäure durchsetzt und mit ihr gesättigt ist, dann aber nimmt sie ab von 0,0200 ccm pro Quadratzentimeter und Stunde am 1. Tage bis auf 0,00137 ccm am 7. Tage. Während dieses Zeitintervalles ging der Druck der Kohlensäure im Glasgefäße, welcher am 1. Tage gleich dem atmosphärischen, 761 mm war, um 180 mm herunter, so daß er am letzten Tage nur noch 581 mm betrug. Während also die Differenz der Partialdrucke, d. i. in unserem Falle, wie bereits erwähnt, der absolute Druck der Kohlensäure im Glasgefäße, nur auf etwa $^3/_4$ des ursprünglichen Druckes herunterging, nahm die Diffusionsgeschwindigkeit der Kohlensäure bis auf etwa $^1/_{15}$ ihres anfänglichen Wertes ab. Durch einen längeren Zeitraum als sieben Tage hatte ich die Beobachtungsreihe deshalb nicht ausgedehnt, weil von dann ab trotz der noch sehr bedeutenden Partialdruckdifferenz von 581 mm, und trotzdem nachweislich, wie auf chemischem Wege durch Absorption der Kohlensäure durch Kalilauge festgestellt wurde, noch mehr als 200 ccm Kohlensäure im Gefäße vorhanden waren, die Diffusion so langsam erfolgte, daß die hernach beobachteten Gewichtsabnahmen schon innerhalb der Genauigkeitsgrenzen der Wägung fielen (einige Zehntel Milligramm gegen etwa 40 Milligramm in den ersten Tagen).

Was also die Abhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit vom Drucke anbelangt, so scheint aus diesen Versuchen hervorzugehen, daß die **Diffusionsgeschwindigkeit nicht allein von der Differenz der Partialdrucke, sondern in hohem Maße auch von der relativen Größe der absoluten Gasdrucke abhängt.**[1])

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß durch solche Dauerversuche infolge des stetig wachsenden und dauernden äußeren Überdruckes die Elastizitätsgrenze der Kautschukmembran meistens überschritten wird; wenigstens nahmen dünnere Membranen, die mit der Dauer des Diffusionsvorganges immer stärker gekrümmt wurden, wenn am Ende der Versuchsreihe durch Öffnen der Hähne wieder Gleichgewicht hergestellt war, nicht mehr ihre ursprüngliche ebene Form an, sondern waren schlaff und runzelig.

Was zweitens die **Abhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit von der Dicke der Membran** betrifft, so **scheinen meine Versuche auch die bisherige Annahme, daß sie umgekehrt proportional sei der Dicke, nicht zu rechtfertigen.**

Aus der großen Zahl meiner hierauf bezüglichen Beobachtungen sei an dieser Stelle nur angeführt, daß drei der beschriebenen gleichen Glasgefäße mit Membranen frischen, braunen Kautschuks verschiedener Dicke (nämlich 2 mm, 0,6 mm und 0,15 mm) bespannt und zu gleicher Zeit mit trockener Kohlensäure unter gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur gefüllt wurden, und daß dann die Diffusionsmengen von Kohlensäure bestimmt wurden, welche durch diese Membranen in denselben gleichen Zeitintervallen hindurchgingen. Es diffundierten in denselben sechs Tagen durch

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| die stärkste | Membran | 42,2 | ccm | Kohlensäure |
| „ mittlere | „ | 87,5 | „ | „ |
| „ dünnste | „ | 93,7 | „ | „ |

Bei einer zweiten Beobachtungsreihe diffundierten in denselben gleichen Zeiträumen durch

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| die stärkste | Membran | 35,2 | ccm | Kohlensäure |
| „ mittlere | „ | 65,4 | „ | „ |
| „ dünnste | „ | 97,0 | „ | „ |

Bei einer dritten Versuchsreihe endlich diffundierten in denselben gleichen Zeitintervallen durch

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| die stärkste | Membran | 35,6 | ccm | Kohlensäure |
| „ mittlere | „ | 71,3 | „ | „ |
| „ dünnste[1]) | „ | 123,2 | „ | „ |

Bildet man das Verhältnis der Diffusionsmengen, welche durch die mittlere und durch die stärkste Membran hindurchgingen, so erhält man

$$\frac{87{,}5}{42{,}2} = 2{,}07; \quad \frac{65{,}4}{35{,}2} = 1{,}86; \quad \frac{71{,}3}{35{,}6} = 2{,}03.$$

Während das Verhältnis der Diffusionsmengen im Mittel also nur 1,99 beträgt, ist das umgekehrte Verhältnis der Dicken:

$$\frac{2{,}0}{0{,}6} = 3{,}33.$$

Und bildet man ferner das Verhältnis der Diffusionsmengen, welche durch die dünnste und dickste Membran hindurchgingen, so erhält man der Reihe nach die Werte

$$\frac{93{,}7}{42{,}2} = 2{,}22; \quad \frac{97{,}0}{35{,}2} = 2{,}76; \quad \frac{123{,}2}{35{,}6} = 3{,}46,$$

während das umgekehrte Verhältnis der Dicken jetzt sogar

$$\frac{2{,}0}{0{,}15} = 13{,}32$$

1) Die von der gesamten Membran absorbierte Kohlensäuremenge kann, wenn man nach den Kayserschen Versuchen den Absorptionskoeffizienten des Kautschuks für Kohlensäure gleich 1 setzt, im Maximum (da die wirksame Grundfläche der Membran abgerundet 44 qcm und ihre Dicke 0,06 cm ist) nur etwa 2,64 ccm (von 760 mm Druck und 20° C) betragen. Da aber der Partialdruck der Kohlensäure in der Membran nur auf der der Kohlensäure zugewandten Seite 760 mm beträgt und nach der der freien Atmosphäre zugewandten Seite hin abnimmt, so enthält die gesamte Membran im ungünstigen Falle etwa 1,5 bis 2,0 ccm Kohlensäure. Während eines ganzen Versuches diffundierten aber etwa 100 ccm Kohlensäure hindurch, so daß die durch Absorption festgehaltene Kohlensäuremenge das gewonnene Resultat nicht verdecken kann.

1) Diese Beobachtung ist im Beobachtungsjournal als unsicher bezeichnet.

ist. Nun könnte man wohl, und zwar mit Recht, den Einwand erheben, die Abweichung von der bisherigen Annahme, daß die Diffusionsgeschwindigkeit umgekehrt proportional der Dicke sei, finde ihre Ursache und Erklärung dadurch, daß die drei Membranen nicht aus einem und demselben Material hergestellt seien. Tatsächlich ist es unsicher, ob sie aus demselben Material stammen, es ist sogar wahrscheinlicher, daß sie verschiedenen Kautschuksorten entstammen. Ob aber die Verschiedenheit der Kautschuksorten ausreicht, so große Abweichungen von der bisher angenommenen Gesetzmäßigkeit zu erklären, erscheint mir durch andere Messungen in Frage gestellt, welche ich gerade mit zwei ganz verschiedenen Kautschuksorten noch angestellt habe. Für zwei frische, nahezu gleichdicke Membranen, von denen die eine aus vulkanisiertem braunen, 2,0 mm dicken, die andere aus vulkanisiertem grauen, 2,2 mm dickem Kautschuk bestand, ergab sich das Verhältnis der Diffusionsmengen

$$\frac{62,5}{54,4} = 1,15,$$

während das umgekehrte Verhältnis der Dicken

$$\frac{2,2}{2,0} = 1,1$$

ist.

Die beiden Membranen, welche offenbar aus ganz verschiedenen Kautschuksorten hergestellt sind, zeigen also zufälligerweise nahezu dieselbe Diffusionsfähigkeit für Kohlensäure.

Um bestimmte und sichere Werte für die Diffusionskonstante der Kohlensäure und anderer Gase durch Kautschuk zu gewinnen und die gesetzmäßige Abhängigkeit der Diffusion von der Dicke der Membran festzustellen, wird man zunächst mit reinem Parakautschuk und mit genauer definierten Kautschuksorten experimentieren und darauf achten müssen, daß die verschieden dicken Membranen aus genau derselben Kautschuksorte hergestellt sind. Um weiter die gesetzmäßige Abhängigkeit der Diffusion vom Partial- und vom Gesamtgasdruck festzustellen, werden die Versuche auf Gasgemische von verschiedenem Kohlensäuregehalt und bestimmtem Gesamtdrucke, sowie bei Veränderung des Gesamtdruckes des Gasgemisches auszudehnen sein. Solche Versuche sind von mir in Aussicht und zum Teil auch bereits in Angriff genommen worden.

(Eingegangen 28. September 1905.)

**H. Gerdien (Göttingen), Demonstration eines Apparates zur absoluten Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Luft.**

Die Messung der Dichte des Vertikalstroms in der Atmosphäre $j_h = -\frac{dV}{dh} \cdot j + \varrho G_h$ ($\gamma_h$ vertikale Stromdichte, $\frac{dV}{dh}$ Potentialgefälle, $\lambda$ spezifische-elektrische Leitfähigkeit der Luft, $\varrho$ freie Ladungsdichte, $G_h$ vertikale Komponente der Geschwindigkeit des Konvektionsstroms) reduziert sich in zwei Fällen[1]) auf die Messung der Dichte des vertikalen Leitungsstroms $-\frac{dV}{dh} \cdot \lambda$, nämlich 1. am Erdboden, wo $G_h$ verschwindet, und 2. in Höhen von mehr als 3000 m, wo die räumliche Ladungsdichte $\varrho$ sehr klein wird. Die Messung des Potentialgefälles mittels des Exnerschen[2]) transportabeln Instrumentariums bereitet heute ebensowenig Schwierigkeiten, wie seine Registrierung nach der Benndorfschen[3]) Methode; zur Messung der spezifischen Leitfähigkeit aber fehlte uns leider ein geeigneter transportabeler Apparat. Die Tatsache, daß die Luft eine merkliche, wenn auch sehr kleine Leitfähigkeit besitzt, war schon Coulomb bekannt; aber erst in neuester Zeit ist von Linß[4]) und Elster und Geitel[5]) das systematische Studium derselben begonnen worden. Leider hat sich, insbesondere durch die Untersuchungen von H. Schering[6]), herausgestellt, daß der Zerstreuungsapparat zu quantitativen Messungen unbrauchbar ist; die neueren quantitativen Methoden beruhen auf Erfahrungen, die in englischen Laboratorien, insbesondere in demjenigen J. J. Thomsons, gewonnen wurden. Nach H. Ebert[7]) läßt sich der Ionengehalt $\varepsilon \cdot n_p$ und $\varepsilon n_n$ ($\varepsilon$ · Ladung des Ions, $n_p$ bezw. $n_n$ spez. Zahl der positiven bezw. negativen Ionen) und damit $n_p$ und $n_n$ direkt messen; die Methode erfordert die Kenntnis der von einem Aspirator geförderten Luftmenge. Von H. Gerdien[8]) und unabhängig von H. Mache[9]) sind Methoden angegeben worden, nach welchen direkt

1) H. Gerdien, Terr. Magn. **10**, 65—79, 1905; Winkelmanns Handbuch der Physik 2. Aufl. **4**, 716—729, 1905; diese Zeitschr. **6**, 647—666, 1905.

2) F. Exner, Wien. Ber. **95**, 1088, 1887.

3) H. Benndorf, Wien. Ber. **111**, 487—512, 1902; Met. Zeitschr. **19**, 282—283, 1902.

4) W. Linß, Met. Zeitschr. **4**, 345, 1887.

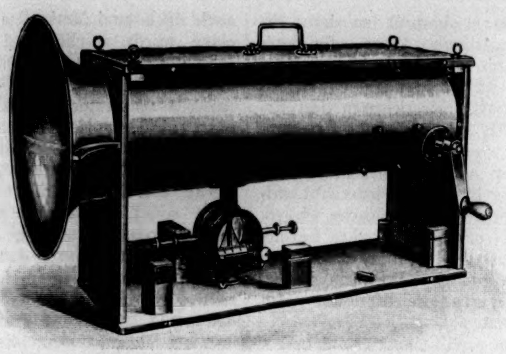
5) J. Elster u. H. Geitel, diese Zeitschr. **1**, 11, 1899; Terr. Magn. **4**, 213—234, 1899.

6) H. Schering, Dissertation, Göttingen 1904.

7) H. Ebert, Arch. de Genève [4] **12**, 97, 1901; diese Zeitschr. **2**, 662, 1901; Illustr. Aeron. Mittlgn. **6**, 178, 1902; Ber. d. D. Phys. Ges. 1905, Heft 2.

8) H. Gerdien, diese Zeitschr. **4**, 632—635, 1903; Gött. Nachr. 1904, 277—299; Terr. Mag. **10**, 65—79, 1905.

9) H. Mache, diese Zeitschr. **4**, 717—721, 1903; H. Mache u. E. v. Schweidler, diese Zeitschr. **6**, 71—73, 1905.



oder indirekt die Anteile der positiven und negativen Ionen an der spezifischen Leitfähigkeit $\varepsilon \cdot n_p \cdot v_p$ und $\varepsilon \cdot n_n v_n$ ($v_p$ bezw. $v_n$ spezifische Geschwindigkeiten der positiven bezw. negativen Ionen) und damit die $v_p$ und $v_n$ gemessen werden konnten.

Der neue Apparat soll die direkte Messung dieser Anteile in möglichst kurzer Zeit ermöglichen. Er besteht aus einem Zylinderkondensator, dessen äußere Elektrode einen Durchmesser von 16 cm, dessen innere Elektrode einen Durchmesser von 1,5 cm und eine Länge von 24 cm hat. In diesem Zylinderkondensator, dessen innere Elektrode isoliert auf dem Blättchenträger eines Exner-Elster-Geitelschen Elektrometers befestigt ist, wird von einem mittels Kurbel angetriebenen vierflügeligen Fächeraspirator ein Luftstrom erzeugt; durch einen schalltrichterartigen Ansatz an der Einströmungsöffnung und ein vor dem Aspirator eingeschaltetes Drahtnetz ist für eine homogene Geschwindigkeitsverteilung innerhalb des Luftstromes gesorgt.

Ladet man die innere Elektrode und aspiriert dann während einer Zeit $t$ mit einer Luftgeschwindigkeit, die durch 1—2 Kurbelumdrehungen /sec. hergestellt wird so gilt

$$\lambda_p = \varepsilon \cdot n_p \cdot v_p = \frac{l_g V' - l_g V''}{t} \cdot \frac{C\, l_g (r_a / r_i)}{2 \pi l}$$

und ein entsprechender Ausdruck für $\lambda n = \varepsilon \cdot n_n v_n$, worin $V'$ und $V''$ das Anfangs- bezw. Endpotential des geladenen Systems, $C$ seine Kapazität, $r_a$ bezw. $r_i$ der Radius der äußeren bezw. der inneren Elektrode, $l$ die Länge der inneren Elektrode des Zylinderkondensators bezeichnen. Sind mehrere verschiedene Ionenarten von jedem Vorzeichen vorhanden, so summiert der Apparat die Anteile der verschiedenen Ionenarten an der spez. Leitfähigkeit, wenn die Bedingung erfüllt ist:

$$G > \frac{V' \cdot 2\, v_{max}\, l}{(r_a^2 - r_i^2)\, l_g (r_a / r_i)},$$

worin $G$ die Geschwindigkeit des Luftstromes und $v_{max}$ die größte unter den verschiedenen Ionenarten vorkommende spez. Geschwindigkeit bedeutet.

Der Apparat liefert also unter dieser Bedingung die spez. Leitfähigkeit in absolutem Maße **unabhängig von der Geschwindigkeit des Luftstromes**; diese muß nur eine gewisse untere Grenze überschreiten. Die einzige Konstante ist das Glied $\frac{C\, l_g (r_a / r_i)}{2 \pi l} = \frac{C}{C' 4 \cdot \pi}$, worin $C'$ den auf den Zylinderkondensator (ohne Elektrometer) entfallenden Anteil an der Kapazität bezeichnet. Die Konstante ermittelt man am besten durch direkte Messung von $C$ und Ausmessung der Dimensionen des Zylinderkondensators.

Bei normaler Leitfähigkeit der Luft genügt am Erdboden eine Aspirationsdauer von wenigen Minuten zur Erzielung eines gut meßbaren Spannungsrückganges. Wegen der Einzelheiten sowie der bisher mit dem Apparat erzielten Resultate muß auf die Originalmitteilung verwiesen werden.[1])

1) H. Gerdien, Gött. Nachr. 1905, Heft 3.

(Eingegangen 10. Oktober 1905.)

**Osc. Knoblauch (München), Über die spezifische Wärme des überhitzten Wasserdampfes für Drucke bis 8 Atm. und Temperaturen bis 350° C.** (Vorläufiger Bericht über gemeinsam mit Max Jakob angestellte Versuche.)

Über die Abhängigkeit der spezifischen Wärme des überhitzten Wasserdampfes von Druck und Temperatur liegen aus neuester Zeit zwei Arbeiten vor: sowohl die theoretische Abhandlung von R. Linde[1]) wie die experiment-

1) R. Linde, Mitteilungen über Forschungsarbeiten, herausgegeben vom Verein deutscher Ingenieure, **21**, S. 57, 1905.

elle von H. Lorenz [1]) kommt zu dem Ergebnis, daß die spezifische Wärme bei konstantem Druck $c_p$ mit wachsender Temperatur abnimmt, dagegen mit steigendem Druck zunimmt. Während qualitativ zwischen den Ergebnissen der beiden Arbeiten volle Übereinstimmung besteht, weichen die erhaltenen Resultate quantitativ nicht unbeträchtlich von einander ab. Die beim Erscheinen jener Abhandlungen im Laboratorium für technische Physik der K. technischen Hochschule München bereits begonnene experimentelle Bestimmung der spezifischen Wärme wurde deshalb nicht unterbrochen. Die bisher erhaltenen Resultate seien nachstehend mitgeteilt.

Der Wasserdampf wurde einem Dampfkessel von ca. 60 qm Heizfläche entnommen, durch Wasserabscheider entwässert und durchströmte dann einen vertikalen aus 15 zylindrischen eisernen Gußkörpern zusammengesetzten Teil des Versuchsapparates. Die Gußkörper hatten je 20 cm lichte Weite und 20 cm Höhe und enthielten elektrische Heizkörper. Diese waren aus sog. Nickelinplätt hergestellt, welches auf Kreuzen von Jenaer Hartglas spiralisch aufgewickelt war. Der Heizstrom wurde von einer Gleichstrommaschine geliefert. Mit Hilfe dieses elektrischen Überhitzers war es möglich, dem Wasserdampfe jede beliebige Anfangstemperatur $T_1$ zu geben.

Aus dem in der Achse des Überhitzers strömenden Dampfe wurde durch ein seitliches Rohr ein Teil entnommen und durch eine Kupferschlange von 18 mm lichter Weite und über 5 m Länge zu einem Kondensator geleitet. Diese Schlange befand sich in einem Oelbade, welches mit Hilfe eines Heizkörpers, der aus einer Tonzelle mit aufgewickeltem Nickelinplätt bestand, unter gleichzeitiger kräftiger Rührung elektrisch geheizt wurde. Eine zweite Dynamomaschine lieferte hierzu den Heizstrom, durch dessen Regulierung es möglich war, der Temperatur des Öles und damit derjenigen $T_2$ des aus der Kupferspirale austretenden und in den Kondensator strömenden Dampfes jeden gewünschten Wert zu erteilen.

Die Differenz $T_2 - T_1$ gibt die Überhitzung an, welche der Dampf in der Kupferschlange erfährt. Aus dieser kann mit Hilfe der stündlich hindurchfließenden Dampfmenge, sowie der zur Heizung verbrauchten elektrischen Energie die spezifische Wärme des Dampfes berechnet werden.

Die vom Dampfe aufgenommene Wärmemenge ist die Differenz aus der gesamten elektrisch zugeführten Energie und der durch Ausstrahlung usw. verloren gegangenen Wärme. Diese Wärmeverluste wurden nach einer oder auch nach zwei Methoden bestimmt. Bei der einen wurde anschließend an den Hauptversuch bei gleicher Öltemperatur wie bei diesem die Eintrittstemperatur $T_1$ des Dampfes der Austrittstemperatur $T_2$ gleich gemacht und dann diejenige Heizenergie ermittelt, welche nötig war, um die Öltemperatur konstant zu halten. Bei der zweiten Art der Nachperiode wurde die Dampfzufuhr völlig abgestellt und dann sofort ebenfalls die zur Konstanthaltung der Öltemperatur nötige Heizung festgestellt.

Das stündlich durch den Apparat strömende Dampfgewicht betrug im Mittel 45 kg, die erzielte Ueberhitzung ca. 35°; die Versuche wurden bei 2, 4, 6 und 8 Atmosphären angestellt und bei Temperaturen, die in Intervallen von ungefähr 50° von der Sättigungstemperatur bis zu 350° anstiegen. — Die Versuche wurden stets erst begonnen, wenn der ganze Apparat bereits längere Zeit im Temperaturgleichgewichte gewesen war, was etwa 5 bis 6 Stunden nach Einleitung des Dampfes eintrat. Jeder einzelne Versuch dauerte mindestens 40 Minuten. Durch beständige Regulierung der elektrischen Ölheizung gelang es im allgemeinen die Temperatur des Öles sowie $T_2$ während eines Versuches auf etwa $1/2$° im Mittel unverändert zu halten. Ebenso war es möglich, durch Konstanthaltung von Kesseldruck, Durchflußmenge und Heizung im großen Überhitzer die größten Schwankungen von $T_1$ im Mittel nicht größer wie 1° werden zu lassen. — Die Korrekturen, welche an den Thermometerablesungen wegen des herausragenden Fadens anzubringen waren, wurden mit einem Fadenthermometer nach Mahlke bestimmt. Sie betrugen höchstens 1°, in der Regel bedeutend weniger.

Die von uns beobachtete Abhängigkeit der spezifischen Wärme $c_p$ des Wasserdampfes von Druck und Temperatur ist die gleiche wie die von R. Linde theoretisch geforderte und von H. Lorenz experimentell gefundene, also Abnahme mit steigender Temperatur und Zunahme mit wachsendem Druck. Unsere Werte schließen sich recht gut der Formel (Gleichung 11) an, die R. Linde a. a. O. unter Benutzung der Dichtebestimmungen des Wasserdampfes aufgestellt hat, die in unserem Laboratorium ausgeführt worden sind. Dagegen sind die erhaltenen Werte vielfach wesentlich kleiner als die von H. Lorenz gefundenen, und zwar wachsen die Differenzen bei hohem Druck und niedriger Temperatur bis zu 20% an, während die Abweichungen von den Lindeschen Werten 3% nie überschreiten.

Die ausführliche Beschreibung der Versuchseinrichtung sowie die Mitteilung der erhaltenen Zahlenwerte von $c_p$ soll demnächst erfolgen.

(Eingegangen 11. Oktober 1905.)

1) H. Lorenz, ebenda S. 93.

**R. Gans (Tübingen), Gravitation und Elektromagnetismus.**

Durch die Lorentzsche Elektronentheorie sind die Erscheinungen der Elektrizität, des Magnetismus, der Optik und der strahlenden Wärme dargestellt, während die Gravitation ganz außerhalb des Darstellungsgebietes stehen geblieben ist. Unser Weltbild wird nun ohne Frage einfacher sein, wenn wir es auf einheitliche Grundlage stellen.

H. A. Lorentz [1]) hat den Versuch gemacht, durch seine Gleichungen auch die Gravitation mit zu umfassen, indem er die Feldgleichungen unverändert läßt, aber die Gleichung für die ponderomotorische Kraft modifiziert und zwar nimmt er an, daß ungleichartige Elektrizitätsmengen sich etwas kräftiger anziehen, als gleichartige sich abstoßen. So resultiert eine anziehende Gravitationswirkung ungeladener Körper, die Lorentz sich als aus gleich viel positiver wie negativer Elektrizität in jedem Volumelement bestehend vorstellt.

Diese Theorie wendet Lorentz (l. c.) auf das Zweikörperproblem an und findet, daß zu der Newtonschen Attraktionskraft noch Zusatzkräfte hinzukommen, die aber so klein sind, daß sie mit den Beobachtungen verträglich sind. Damit begnügt Lorentz sich.

Von einer elektromagnetischen Gravitationstheorie müssen wir aber verlangen, daß sie alle Erscheinungen des Elektromagnetismus und der Gravitation erklärt, insbesondere die Superposition von Gravitationswirkungen und elektromagnetischen Wirkungen, die Schirmwirkung von Leitern für elektrostatische Kräfte, keine Schirmwirkung für Gravitationskräfte.

Um Schlüsse in dieser Richtung ziehen zu können, müssen wir zunächst festsetzen, was wir unter einem Leiter verstehen, und wir machen da die Annahme, die sich in der Elektronentheorie der Metalle als die bei weitem einfachste herausgestellt hat [2]), daß die positiven Elektronen am Körper haften, negative in Leitern frei beweglich sind. Wir werden sehen, daß wir nicht die Beweglichkeit sämtlicher negativer Elektronen annehmen dürfen.

Dann aber taucht die Frage auf, ob zwei ungeladene Metallkugeln sich infolge ihrer Gravitationswirkung so anziehen, als ob ihre Massen im Mittelpunkt vereinigt wären oder ob infolge der Beweglichkeit der negativen Elektrizität durch Influenz noch eine Kraft hinzukommt.

Alle diese Fragen lassen sich mit einem Schlage lösen, wenn wir die Grundgleichungen der Elektronentheorie für die positiven und für die negativen Elektronen einzeln hinschreiben. Sie lauten:

$$\begin{aligned} c\,\mathrm{rot}\,\overset{+}{\mathfrak{H}} &= \frac{\partial \overset{+}{\mathfrak{E}}}{\partial t} + \overset{+}{\varrho}\mathfrak{v} \\ -c\,\mathrm{rot}\,\overset{+}{\mathfrak{E}} &= \frac{\partial \overset{+}{\mathfrak{H}}}{\partial t} \\ \mathrm{div}\,\overset{+}{\mathfrak{E}} &= \overset{+}{\varrho} \\ \mathrm{div}\,\overset{+}{\mathfrak{H}} &= 0. \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} c\,\mathrm{rot}\,\overset{-}{\mathfrak{H}} &= \frac{\partial \overset{-}{\mathfrak{E}}}{\partial t} + \overset{-}{\varrho}\mathfrak{v} \\ -c\,\mathrm{rot}\,\overset{-}{\mathfrak{E}} &= \frac{\partial \overset{-}{\mathfrak{H}}}{\partial t} \\ \mathrm{div}\,\overset{-}{\mathfrak{E}} &= \overset{-}{\varrho} \\ \mathrm{div}\,\overset{-}{\mathfrak{H}} &= 0. \end{aligned} \tag{2}$$

Hier bedeuten $\overset{+}{\mathfrak{E}}$ ($\overset{-}{\mathfrak{E}}$), $\overset{+}{\mathfrak{H}}$ ($\overset{-}{\mathfrak{H}}$) elektrische resp. magnetische Feldstärke, die von den positiven (negativen) Elektronen erzeugt ist, $\overset{+}{\varrho}$ ($\overset{-}{\varrho}$) die Ladungsdichte der positiven (negativen) Elektrizität. $\mathfrak{v}$ bedeutet die Geschwindigkeit in jedem Raumpunkte des Feldes. Wir wollen der Einfachheit halber annehmen, daß dort, wo sich ein positives Elektron befindet, kein negatives vorhanden ist, denn sonst müßten wir ein $\overset{+}{\mathfrak{v}}$ und ein $\overset{-}{\mathfrak{v}}$ definieren, da die Elektronen verschiedene Geschwindigkeit haben könnten. Notwendig ist diese Vereinfachung jedoch nicht.

Zu obigen Gleichungen kommt noch die Gleichung für die ponderomotorische Kraft hinzu. Diese lautet:

$$\begin{aligned} \mathfrak{f} = {} & \overset{+}{\varrho}\left\{\alpha\overset{+}{\mathfrak{E}} + \beta\overset{-}{\mathfrak{E}} + \left[\frac{\mathfrak{v}}{c},\ \alpha\overset{+}{\mathfrak{H}} + \beta\overset{-}{\mathfrak{H}}\right]\right\} + \\ & \overset{-}{\varrho}\left\{\beta\overset{+}{\mathfrak{E}} + \alpha\overset{-}{\mathfrak{E}} + \left[\frac{\mathfrak{v}}{c},\ \beta\overset{+}{\mathfrak{H}} + \alpha\overset{-}{\mathfrak{H}}\right]\right\}. \end{aligned} \tag{3}$$

$\alpha$ und $\beta$ sind zwei positive Konstante und zwar ist $\beta > \alpha$. Wir könnten $\alpha$ willkürlich gleich Eins setzen, lassen es aber aus Symmetriegründen unbestimmt.

In der gewöhnlichen Lorentzschen Theorie ist $\alpha = \beta$ und $\overset{+}{\mathfrak{E}} + \overset{-}{\mathfrak{E}} = \mathfrak{E}$; $\overset{+}{\mathfrak{H}} + \overset{-}{\mathfrak{H}} = \mathfrak{H}$; $\overset{+}{\varrho} + \overset{-}{\varrho} = \varrho$.

Die Gleichung (3) sieht sehr viel komplizierter aus als die entsprechende Gleichung der Elektronentheorie, ihre physikalische Bedeutung ist aber einfach. Sie sagt nämlich aus, daß die Wirkung ungleichartiger Elektronen aufeinander im Verhältnis $\beta/\alpha$ stärker ist, als die Wirkung gleichartiger.

---

1) H. A. Lorentz, Versl. K. Ak. van Wet. **8**, 603, 1900.

2) H. A. Lorentz, Versl. K. Ak. van Wet. **13**, 492, 565, 710, 1905.

(1), (2) und (3) sind vollkommen symmetrisch bezüglich der positiven und negativen Größenarten, (3) hat aber den Nachteil, simultan in beiden Größenarten zu sein.

Von diesem Nachteil machen wir uns frei, wenn wir die Gleichungen (1) mit $\beta$, die Gleichungen (2) mit $\alpha$ multiplizieren und entsprechende addieren. Setzen wir

$$\begin{aligned} \beta\overset{+}{\mathfrak{E}} + \alpha\overset{-}{\mathfrak{E}} &= \mathfrak{E} \\ \beta\overset{+}{\mathfrak{H}} + \alpha\overset{-}{\mathfrak{H}} &= \mathfrak{H} \\ \beta\overset{+}{\varrho} + \alpha\overset{-}{\varrho} &= \varrho, \end{aligned} \tag{4}$$

so folgt

$$\begin{aligned} c \operatorname{rot} \mathfrak{H} &= \frac{\partial \mathfrak{E}}{\partial t} + \varrho \mathfrak{v} \\ -c \operatorname{rot} \mathfrak{E} &= \frac{\partial \mathfrak{H}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \mathfrak{E} &= \varrho \\ \operatorname{div} \mathfrak{H} &= 0. \end{aligned} \tag{5}$$

(3) läßt sich auf die Form bringen

$$\begin{aligned} \mathfrak{f} = &-\frac{\beta^2-\alpha^2}{\alpha}\overset{+}{\varrho}\left\{\overset{+}{\mathfrak{E}} + \left[\frac{\mathfrak{v}}{c}, \overset{+}{\mathfrak{H}}\right]\right\} \\ &+ \frac{\varrho}{\alpha}\left\{\mathfrak{E} + \left[\frac{\mathfrak{v}}{c}, \mathfrak{H}\right]\right\}. \end{aligned} \tag{6}$$

(4), (5) und (6) sind ein vollständiger Ersatz für (1), (2) und (3).

(5) und der zweite Term von (6) sind genau die Lorentzschen Gleichungen der Elektronentheorie, sie stellen die elektromagnetischen Erscheinungen dar. $\mathfrak{E}$ ist die Kraft auf die ruhende negative Elektrizitätsmenge Eins, wie aus der ersten Gleichung (4) und dem zweiten Term von (3) folgt. Da aber negative Elektronen in Leitern beweglich sein sollen, so muß im Falle der Statik in Leitern $\mathfrak{E} = 0$ sein. Es folgt hieraus die Schirmwirkung leitender Hüllen in der Elektrostatik.

(1) und der erste Term von (6) geben für ruhende Körper das Newtonsche Gravitationsgesetz, wenn wir

$$k = \frac{\beta^2 - \alpha^2}{\alpha} \tag{7}$$

gleich der Gravitationskonstanten setzen und die positiven Elektronen mit den gravitierenden Massen identifizieren. Denn aus (1) folgt, daß im statischen Zustand $\overset{+}{\mathfrak{H}} = 0$ ist und $\overset{+}{\mathfrak{E}}$ sich aus einem Potential ableiten läßt, welches der Poissonschen Gleichung genügt. Der erste Term von (6) gibt dann an, daß dieses Potential in der bekannten Weise zur ponderomotorischen Kraft führt, die sich durch die Gravitationskonstante und durch das Vorzeichen von dem Coulombschen Gesetz unterscheidet.

Sind die Geschwindigkeiten der Körper nicht gegen die Lichtgeschwindigkeit zu vernachlässigen, so treten zu der Newtonschen Kraft genau dieselben Zusatzkräfte, die schon Lorentz berechnet hat; die Erfahrung spricht nicht gegen ihr Vorhandensein.

Wir nennen einen Körper „ungeladen", wenn in jedem Volumelement

$$\varrho = \beta\overset{+}{\varrho} + \alpha\overset{-}{\varrho} = 0$$

ist, d. h. wenn er etwas mehr negative als positive Elektrizität in jedem Volumelement enthält. Das klingt ja allerdings absurd, aber wir müssen berücksichtigen, daß wir für gewöhnlich bei der Prüfung, ob ein Körper geladen ist oder nicht, die Gravitationswirkungen vernachlässigen, also $\alpha = \beta$ setzen (vgl. (7)). Wir nennen jetzt einen Körper „ungeladen", wenn er nicht die ponderomotorischen Wirkungen zeigt, die wir als typisch für seine elektrische Ladung anzusehen gewohnt sind.

Aus diesen Überlegungen folgt, daß die in den $\alpha$-Strahlen enthaltenen Elektronen Gravitation zeigen müssen, daß dagegen die Elektronen der $\beta$-Strahlen, sofern es freie negative Elektronen sind, keine Gravitation zeigen dürfen.

Unabhängig von der Gravitation können wir die Masse durch ihre Trägheit definieren; es zeigt sich in der Mechanik, daß bei kleinen Geschwindigkeiten beide Größen einander proportional sind. Wir sind gewohnt, sie in unseren Meßmethoden einander gleich zu setzen, indem wir den Proportionalitätsfaktor in die Gravitationskonstante hineinwerfen. Wir können nun mit W. Wien[1]) auch die träge Masse rein elektromagnetisch erklären, indem wir annehmen, daß in einem ponderablen Körper die Elektronen sich in Abständen befinden, die groß im Vergleich zu den Dimensionen der Elektronen sind. Dann werden die Energien und trägen Massen der einzelnen Elektronen sich einfach superponieren, die träge Masse wird der Quantenzahl proportional sein genau wie die gravitierende Masse.

Die Kenntnis von dem Aufbau des Masseatoms aus seinen Elektronen wird uns in den Stand setzen, das Verhältnis von gravitierender zu träger Masse anzugeben.

Wir hatten bereits erwähnt, daß nicht alle negativen Elektronen in Metallen als beweglich angenommen werden dürfen und zwar aus folgendem Grunde: Sind $\overset{+}{N}$ positive Elektronen in der Volumeinheit einer Substanz, so ist $\overset{+}{\varrho} = \overset{++}{Ne}$ ihr spezifisches Gewicht. Ist der Körper ungeladen, so ist $\varrho = \beta\overset{+}{\varrho} + \alpha\overset{-}{\varrho} = 0$, also ist die Anzahl sämtlicher negativer Elektronen in der Volumeinheit

1) W. Wien, Arch. néerl. (2) **5**, 96, 1900 u. Ann. d. Phys. **5**, 501, 1901.

$$\overset{-}{N} = \frac{\beta}{\alpha} \frac{1}{\left|\overset{-}{e}\right|} \overset{+}{\varrho} \qquad (8)$$

dem spezifischen Gewicht proportional. Nach Lorentz[1]) steht aber die Anzahl der beweglichen negativen Elektronen pro Volumeinheit in Beziehung zu der thermoelektrischen Stellung der Substanz, und wir kennen keinen Zusammenhang zwischen dem thermoelektrischen Verhalten und dem spezifischen Gewicht eines Körpers. Dieser Tatsache werden wir gerecht, wenn wir annehmen, daß nicht alle negativen Elektronen beweglich sind.

Riecke[2]) und Drude[3]) haben den Halleffekt dargestellt durch die Annahme, daß die positiven und negativen Quanten beweglich sind. Es fragt sich, wie Lorentz das verschiedene Vorzeichen der Hallkonstanten unter der Annahme einer beweglichen Elektronengattung darstellen wird, und was für Konsequenzen für die Gravitation aus dieser Annahme sich ergeben.

Läßt man in einigen Materialien rotatorische Bewegungen der positiven Elektronen zu, so wird es möglich sein, die Änderungen der Gravitation bei gewissen chemischen Reaktionen, die von Landolt[4]) und Heydweiller[5]) beobachtet worden sind, auf Grund der obenstehenden Theorie zu erkären. Es würde der beobachtete Effekt vielleicht ein Einfluß der Erdrotation auf diese Substanzen sein. Dann müßte aber dieser Effekt von der geographischen Breite des Beobachtungsortes abhängig sein.

Weitere Folgerungen dieser Gravitationstheorie wird Herr stud. Wacker in Tübingen ziehen.

1) H. A. Lorentz, Versl. K. Ak. van Wet. **13**, 565, 1905.
2) E. Riecke, Wied. Ann. **66**, 353, 545, 1199, 1898.
3) P. Drude, Ann. d. Phys. **1**, 566, 1900; **3**, 369, 1900.
4) H. Landolt, Zeitschr. phys. Chem. **12**, 11, 1894.
5) A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **5**, 394, 1901.

Tübingen, Physikal. Institut, 6. Okt. 1905.

(Eingegangen 7. Oktober 1905.)

---

**Mathias Cantor (Würzburg), Das mechanische Äquivalent der Verbrennung und Konstruktion eines rationellen Verbrennungsmotors.**

Verbrennungsvorgänge bilden eine der wichtigsten Quellen zur Gewinnung mechanischer Arbeit. Im Vortrage wurden zwei auf diese Vorgänge sich beziehende Punkte erörtert:

1. Theoretische Herstellung desjenigen Betrages mechanischer Arbeit, welchen mittels einer bestimmten Verbrennung zu erzeugen überhaupt möglich ist;

2. Angabe eines prinzipiell neuen Verbrennungsverfahrens, durch das jener theoretische Grenzwert mit größerer Annäherung als bisher erreicht werden kann. Die Bedeutung des zweiten Punktes für die Praxis bedarf keiner näheren Erörterung, da es wohl als allgemeines Ziel der technischen Thermodynamik angesehen werden darf, Methoden anzugeben, durch welche mittels einer gegebenen Menge eines Brennstoffes ein möglichst hoher Ertrag gewonnen werden kann. Aber auch die theoretische Feststellung des überhaupt möglichen Grenzwertes hat wohl für die Technik Bedeutung, weil durch ihn erst eine Beurteilung des schon Erreichten und noch zu Erreichenden ermöglicht wird. Zunächst wurde die Frage: Welche Arbeit läßt sich mittels eines bestimmten Verbrennungsvorganges im Maximum erzielen? behandelt. Diese Frage ist bisher gewöhnlich in der Form gestellt und diskutiert worden: Wieviel von der Verbrennungswärme läßt sich in Arbeit verwandeln? In dieser Fragestellung ist die Vorstellung enthalten, als ob es sich um Verwandlung einer Wärmemenge in Arbeit handeln würde, eine Frage, die bekanntlich durch Carnot ihre Beantwortung gefunden hat. Aber Wärmequantitäten, wie sie Carnot fingiert, sind uns tatsächlich gar nicht gegeben. Gegeben sind uns vielmehr bestimmte chemische Systeme, bei deren Verwandlung Arbeit gewonnen werden kann. Das allgemeine Problem der technischen Thermodynamik wird hiernach nicht die thermisch-mechanische, sondern die chemisch-mechanische Verwandlung sein und die gestellte Frage in allgemeiner Fassung lauten: Wieviel Arbeit kann durch eine bestimmte chemische Verwandlung erzielt werden? Um diese Frage allgemein zu lösen, muß berücksichtigt werden, daß die chemische Verwandlung im allgemeinen unter Arbeit und Wärmeabgabe sich vollzieht und daß auch der entwickelten Wärme eine nach dem Carnotschen Theorem bestimmbare Arbeitsfähigkeit zukommt. Die Summe der direkt abgegebenen und der durch Transformation dieser Wärme gewinnbaren Arbeit gibt erst den ganzen durch die chemische Veränderung erzielbaren Arbeitsbetrag an. Für diesen läßt sich ein allgemeiner Ausdruck angeben, der nur vom Anfangs- und Endzustand des sich verwandelnden Systems abhängt, also unabhängig vom Wege der Verwandlung ist. Er gibt die oberste Grenze des überhaupt erzielbaren Arbeitsbetrages an und wird vom Vortragenden als das mechanische Äquivalent der chemischen Verwandlung bezeichnet. Das Verhältnis der von einem Motor gelieferten Arbeit zum mechanischen Äquivalent des im Motor sich vollziehenden chemischen Prozesses ist der rationelle Nutzeffekt des Motors. Wendet man das theoretische Ergebnis auf die üblichen Maschinen

typen an, bei denen mechanische Arbeit durch die Zustandsänderung bestimmter Gas- oder Dampfmassen geleistet wird, so ergibt sich, daß der durch eine Verbrennung zu erzielende Arbeitsertrag wesentlich bestimmt wird durch das Verhältnis des End- zum Anfangsvolumen der Gasmassen. Je kleiner insbesondere letzteres gemacht werden kann, desto günstiger der Nutzeffekt. Die konsequente Verfolgung dieses Resultats verlangt, daß die Vereinigung der reagierenden Stoffe, Brennstoff einerseits, Sauerstoff anderseits, in möglich kleinstem Volumen vor sich geht. Diese Forderung führt zu einem neuen Arbeitsverfahren, bei dem der Sauerstoff nicht gasförmig, sondern physikalisch oder chemisch gebunden, z. B. in Form von Oxyden Verwendung findet. Der Vortragende gibt eine praktische Ausführungsform an, bei der in glühendes Kupferoxyd flüssige Brennstoffe, etwa Petroleum, hineingepreßt werden, so daß die bei der Verbrennung mit dem Sauerstoff des Oxyds entstehenden Verbrennungsgase das denkbar kleinste Anfangsvolumen besitzen. Das reduzierte metallische Kupfer wird dann durch den Sauerstoff eines durchgeblasenen Luftstromes wieder in Oxyd verwandelt, wobei der Sauerstoff auf das ca. 7000mal kleinere Volumen gebracht wird, als er in Luft besitzt und überdies die Oxydation zu weiterer Arbeitsleistung benutzt werden kann. Ein Diagramm läßt unmittelbar die Überlegenheit des neuen Arbeitverfahrens erkennen. Durch den Vortrag wird das überhaupt erreichbare Ziel und in allgemeinen Umrissen auch ein Weg angegeben, auf dem dasselbe erreicht werden kann. Sache der Technik wird es sein, das Verfahren zur praktischen Durchführung zu bringen.

(Eingegangen 20. September 1905.)

**W. Wien (Würzburg), Über Elektronen.**[1]

Die Annahme von Elektronen, außerordentlich kleiner elektrischer Teilchen, die gegenwärtig in der Physik eine bedeutende Rolle spielt, ist zuerst von den Beobachtungen ausgegangen, die man über die Vorgänge machte, welche bei der chemischen Zersetzung durch den galvanischen Strom auftreten. Diese erfolgt, wie alle chemischen Zersetzungen, quantitativ im Verhältnis der Atomgewichte. Es zeigte sich dabei, daß von einer bestimmten Elektrizitätsmenge immer den Atomgewichten proportionale Mengen abgeschieden werden. Die weiteren Forschungen, besonders von Hittorf und Kohlrausch führten denn zu der Hypothese, daß bei der Zersetzung durch den galvanischen Strom die Atome oder Moleküle, mit positiver oder negativer elektrischer Ladung versehen und durch die elektrischen Kräfte getrieben, nach der Austritts- oder Eintrittsstelle des galvanischen Stromes hinwandern und dort abgeschieden werden.

Die chemischen Atome der Moleküle werden in geladenem Zustand Ionen genannt. Helmholtz erweiterte diese Theorie, indem er die chemische Anschauung der materiellen Elementarquanten, der Atome, auf die Elektrizität ausdehnte und die Annahme machte, daß jedes Atom mit einem bestimmten Elementarquantum Elektrizität behaftet sei. Während diese Annahmen zunächst zur Erklärung der Prozesse bei der elektrolytischen Zersetzung gemacht waren, wurden sie bald gebraucht, um die Tatsache der Dispersion des Lichtes bei der Brechung mit der elektromagnetischen Lichttheorie in Einklang zu bringen. Diese Theorie, welche besonders durch die Hertzschen Versuche gestützt ist, sieht in dem Lichte außerordentlich schnell wechselnde elektrische und magnetische Kräfte, die sich eben wegen des außerordentlich raschen Wechsels der Richtung der Beobachtung durch gewöhnliche elektrische Apparate entziehen. Diese Kräfte setzen nun die in jedem Körper vorhandenen Ionen in Schwingungen, deren Rückwirkung die Dispersion ergibt.

Als man dann nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen die Vorgänge bei ihrer Erzeugung näher studierte, zeigte sich bald, daß die Kathodenstrahlen, die bei ihrem Auftreffen auf feste Körper die Röntgenstrahlen erzeugen, selbst negativ geladene Teilchen sind, die sich mit ungeheurer Geschwindigkeit fortbewegen. Weitere Untersuchungen zeigten dann, daß die Vorgänge in einer Geißlerschen oder Röntgenröhre, in welchen die Kathodenstrahlen erzeugt werden, den Vorgängen bei der elektrolytischen Zersetzung insofern analog sind, als auch hier negative und positive Teilchen von den elektrischen Kräften in entgegengesetzter Richtung mit verschiedener Geschwindigkeit getrieben werden.

Die quantitativen Messungen ergaben für die Masse der positiven Teilchen ähnliche wie für Ionen, d. h. Massen von der Größe der chemischen Atome. Bei den negativ geladenen, den Kathodenstrahlteilchen, zeigte sich aber sehr viel kleinere Masse, d. h. diese Teilchen müssen mehr als tausendmal geringere Masse als selbst ein Wasserstoffatom besitzen. Schon früher war durch Rechnung die Schlußfolgerung gezogen, daß ein elektrisches Teilchen einer gewissen Arbeitsleistung bedarf, um in Bewegung gesetzt zu werden, d. h. also der bewegenden Kraft einen Widerstand entgegensetzt. Dieser Widerstand ist von derselben Art, wie ihn jeder materielle Körper gegen be-

1) Kurzes Autorreferat des Vortragenden.

wegende Kräfte zeigt. Hier nennt man ihn Trägheitswiderstand. Da nun diese Trägheit immer der Masse proportional ist, so ist die Trägheit als eine der Elementarwirkungen der Masse anzusehen. Da nun ein bewegtes elektrisches Teilchen gerade so einen Trägheitswiderstand zeigt, so kann man auch hier von Masse sprechen, die man scheinbare nennt, weil sie nichts mit der gewöhnlichen zu tun hat. Bei kleinen Geschwindigkeiten kann man es gar nicht unterscheiden, ob ein aus positiver und negativer Elektrizität bestehendes Teilchen noch außerdem gewöhnliche Masse hat oder nicht. Auch selbst die ungeheuren Geschwindigkeiten der Kathodenstrahlen geben in dieser Beziehung keinen Aufschluß. Der Unterschied zwischen gewöhnlicher und scheinbarer Masse beginnt erst bei Geschwindigkeiten, die der des Lichts nahekommen. Hier ergab nun die Rechnung, daß der Trägheitswiderstand mit zunehmender Geschwindigkeit größer wird und daher muß auch die scheinbare Masse größer werden. So schnellfliegende Elektronen kommen nun in den $\beta$-Strahlen des Radiums vor. In diesem merkwürdigen Körper haben wir, wie es scheint, ein in Verwandlung begriffenes chemisches Element vor uns. Dabei sendet er positiv geladene $\alpha$-Strahlen und negative $\beta$-Strahlen aus. An diesen letzteren konnte nun Kaufmann nachweisen, daß in der Tat die Masse bei den schneller fliegenden in demselben Verhältnis größer ist, wie die Rechnung es verlangt, so daß wir zunächst anzunehmen haben, daß diese negativen Teilchen, die Elektronen, nur aus Elektrizität bestehen und daher nur scheinbare Masse haben. Es ist natürlich, daß man sich nun die Frage vorlegen muß, ob wir überhaupt noch gewöhnliche Masse annehmen sollen oder nur noch scheinbare. Es wäre das eine große Vereinfachung unserer Vorstellungen, weil wir nur noch mit elektrischen Atomen zu operieren hätten. Dabei würden die gewöhnlichen Vorstellungen und die Probleme der Mechanik gar nicht berührt werden.

Es soll aber nicht verschwiegen werden, daß auch die Elektronentheorie bedeutende Schwierigkeiten enthält. Wir müssen jedem Elektron eine bestimmte Ausdehnung zuschreiben, die sich bei gegebener Form, also z. B. Kugelgestalt, berechnen läßt. Die Rechnung ergibt für den Halbmesser ungefähr 1 Billionstel Millimeter. In einer solchen ausgedehnten elektrischen Ladung müssen aber ungeheure Kräfte vorhanden sein, die die einzelnen Teile auseinander zu treiben suchen. Es ist natürlich mißlich, in einem Körper, der als unteilbares Element gelten soll, noch Kräfte anzunehmen, die die einzelnen Teile desselben aufeinander ausüben. Große Schwierigkeit macht der Elektronentheorie auch die Erklärung der Spektrallinien. Da jedem Element eine bestimmte Gruppierung der Spektrallinien zukommt, die es in leuchtendem Zustand aussendet, so muß jedes Atom ein unveränderliches System bilden. Am einfachsten wäre es, wenn man jedes Atom als ein Planetensystem auffassen könnte, das aus einem positiv geladenen Zentrum besteht, um welches die negativen Elektronen wie Planeten kreisen. Ein solches System könnte aber wegen der von den Elektronen ausgestrahlten Energie nicht unveränderlich sein. Man ist daher gezwungen, zu einem System zurückzukehren, in welchem die Elektronen sich in relativer Ruhe oder geringer Geschwindigkeit zueinander befinden, eine Vorstellung, die vieles Bedenkliche enthält.

Eine besondere Schwierigkeit liegt für die Elektronentheorie in der Schwerkraft. Konsequenterweise müßte man sie auch elektrisch erklären. Dafür reichen aber die Grundlagen der bisherigen Elektrizitätslehre nicht aus und man muß besondere Hilfshypothesen einführen.

Wir können daher in der Elektronentheorie noch durchaus nichts Abschließendes erblicken, sondern müssen sie durch weitere wissenschaftliche Arbeit zu verbessern suchen.

(Eingegangen 11. September 1905.)

---

## A. Gutzmer (Halle a. S.), Allgemeiner Bericht über die bisherige Tätigkeit der Unterrichtskommission der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte.

Die Reformbestrebungen auf dem Gebiete des mathematisch-naturwissenschaftlichen Schulunterrichts, die seit mehr als zwei Jahrzehnten weite Kreise des deutschen Volkes bewegen, sind im Begriff, von der bloßen Kritik der bestehenden Zustände und von zum Teil utopischen Wünschen zu praktischen Vorschlägen überzugehen.

Auf seiten der Mathematik war schon seit vielen Jahren eine Bewegung im Flusse, die eine vertiefte und lebendigere Auffassung des eigentlichen Gedankeninhalts der Mathematik und eine verstärkte Berücksichtigung der Anwendungen verlangte[1]), um der stetig wachsenden Bedeutung der Mathematik und ihrer Methoden für unsere Gesamtkultur, insbesondere die theoretische Naturwissenschaft, die Technik und das Verkehrswesen, das soziale und wirt-

1) Vgl. neben vielen in einzelnen Zeitschriften zerstreuten aus den Kreisen der Fachlehrer stammenden Kundgebungen in diesem Sinne insbesondere die Verhandlungen des Vereins zur Förderung des Unterrichts in der Mathematik und den Naturwissenschaften von 1891 an sowie zahlreiche Vorträge, Referate usw. in den Jahresberichten der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, ferner eine Reihe selbständiger Veröffentlichungen von F. Klein u. a.

schaftliche Leben (Versicherungswesen) in geeigneter Weise Rechnung zu tragen.

Auf der andern Seite befinden sich die biologischen Wissenschaften seit dem Jahre 1879, wo sie aus dem Lehrplane der drei obersten Jahrgänge der höheren preußischen Schulen gestrichen wurden, in einer sehr unwürdigen Lage. Jene Maßregel vom Jahre 1879 bedeutete eine vollkommene Verkennung des hohen allgemeinen und sachlichen Bildungswertes der Biologie; sie führte bekanntlich zu einer Gegenwirkung von geradezu elementarer Kraft, die auf der Hamburger Naturforscher-Versammlung vom Jahre 1901 in den sogenannten „Hamburger Thesen" [1]) ihren Ausdruck fand.

Beide Bewegungen — die mathematische und die biologische — flossen dann auf der Casseler Versammlung vom Jahre 1903 zu einem mächtigen Strome zusammen, denn hier wurde beschlossen: „Die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte nimmt die Hamburger Thesen des Komitees zur Förderung des biologischen Unterrichts an höheren Schulen einstimmig an, indem sie sich vorbehält, die Gesamtheit der Fragen des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts bei nächster Gelegenheit zum Gegenstand einer umfassenden Verhandlung zu machen." Diese Gelegenheit war schon in Breslau 1904 gegeben, wo nach einer eingehenden und allseitigen Beleuchtung des gesamten mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts [1]) dem Vorstande der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte von der Versammlung der Wunsch nach Einsetzung einer Kommission ausgesprochen wurde, indem die folgende Resolution einhellig Annahme fand:

„In voller Würdigung der großen Wichtigkeit der behandelten Fragen spricht die Versammlung dem Vorstande den Wunsch aus, in einer möglichst vielseitig zusammengesetzten Kommission diese Fragen weiter behandelt zu sehen, damit einer späteren Versammlung bestimmte, abgeglichene Vorschläge zu möglichst allseitiger Annahme vorgelegt werden können."

Diese Bestrebungen der Versammlung wurden auch von dem Vertreter des Vereins Deutscher Ingenieure warm befürwortet, der selber seit vielen Jahren die gleichen Ziele verfolgt und bereits vor fast 20 Jahren die Forderung eines verstärkten mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts an die deutschen Staatsregierungen gerichtet hat.

Dem in der genannten Resolution ausgesprochenen Wunsche hat der Vorstand der Naturforschergesellschaft in sehr dankenswerter Weise Rechnung getragen; bekanntlich hat er eine 12gliedrige Kommission eingesetzt, bestehend aus den Herren: v. Borries-Berlin, Duisberg-Elberfeld, Fricke-Bremen, Klein-Göttingen, Kräpelin-Hamburg, Leubuscher-Meiningen, Pietzker-Nordhausen, Poske-Berlin, Bastian Schmid-Zwickau, Schotten-Halle, Verworn-Göttingen und Gutzmer-Jena, (jetzt Halle a. S.) dem der Vorsitz zufiel. Von

1) Die erwähnten Hamburger Thesen lauten:

1. Die Biologie ist eine Erfahrungswissenschaft, die zwar bis zur jeweiligen Grenze des sicheren Naturerkennens geht, aber dieselbe nicht überschreitet. Für metaphysische Spekulationen hat die Biologie als solche keine Verantwortung und die Schule keine Verwendung.

2. In formeller Hinsicht bildet der naturwissenschaftliche Unterricht eine notwendige Ergänzung der abstrakten Lehrfächer. Im besondern lehrt die Biologie die sonst so vernachlässigte Kunst des Beobachtens an konkreten, durch den Lebensprozeß ständigem Wechsel unterworfenen Gegenständen und schreitet, wie in der Physik und Chemie, induktiv von der Beobachtung der Eigenschaften und Vorgänge zur logischen Begriffsbildung vor.

3. Sachlich hat der naturgeschichtliche Unterricht die Aufgabe, die heranwachsende Jugend mit den wesentlichsten Formen der organischen Welt bekannt zu machen, die Erscheinungen des Lebens in ihrer Mannigfaltigkeit zu erörtern, die Beziehungen der Organismen zur unorganischen Natur, zueinander und zum Menschen darzulegen und einen Überblick über die wichtigsten Perioden der Erdgeschichte zu geben. Besonderer Berücksichtigung bedarf auf der Grundlage der gewonnenen biologischen Kenntnisse die Lehre von der Einrichtung des menschlichen Körpers und der Funktion seiner Organe, einschließlich der wichtigsten Punkte aus der allgemeinen Gesundheitslehre.

4. In ethischer Beziehung weckt der biologische Unterricht die Achtung vor den Gebilden der organischen Welt, das Empfinden der Schönheit und Vollkommenheit des Naturganzen und wird so zu einer Quelle reinsten, von den praktischen Interessen des Lebens unberührten Lebensgenusses. Gleichzeitig führt die Beschäftigung mit den Erscheinungen der lebenden Natur zur Einsicht von der Unvollkommenheit menschlichen Wissens und somit zu innerer Bescheidenheit.

5. Eine solche Kenntnis der organischen Welt muß als notwendiger Bestandteil einer zeitgemäßen allgemeinen Bildung betrachtet werden: Sie kommt nicht etwa nur dem künftigen Naturforscher und Arzte zugute, dem sie den Eintritt in sein Fachstudium erleichtert, sondern sie ist in gleichem Maße für diejenigen Abiturienten der höheren Schulen von Wichtigkeit, denen ihr späterer Beruf keinen direkten Anlaß zum Studium der Natur bietet.

6. Der gegenwärtige naturgeschichtliche Unterricht kann dieses Ziel nicht erreichen, weil er von der Oberstufe ausgeschlossen ist, und weil die Lehre von den Lebensvorgängen und den Beziehungen der Organismen zur umgebenden Welt erfahrungsgemäß nur von Schülern reiferen Alters verstanden wird, denen die physikalischen und chemischen Grundlehren bereits bekannt sind.

7. Aus diesen Gründen ist es dringend notwendig, daß der biologische Unterricht an den höheren Lehranstalten — mit etwa zwei Stunden wöchentlich — durch alle Klassen geführt werde, wie es früher am Realgymnasium der Fall war.

8. Am Realgymnasium und der Oberrealschule dürfte sich die erforderliche Zeit voraussichtlich durch geeignete Verteilung der für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht vorgesehenen Stundenzahl, eventuell durch Abgabe einer sprachlichen Stunde, gewinnen lassen.

9. Der jetzt bestehende Mangel geeigneter Lehrkräfte wird verschwinden, sobald sich den Studierenden die Aussicht eröffnet, die für Oberklassen erworbene Facultas docendi in den beschreibenden Naturwissenschaften in ihrem späteren Lehramte auch wirklich ausnützen zu können.

1) S. Verhandlungen der Breslauer Naturforscher-Versammlung über den naturwissenschaftlichen und mathematischen Unterricht an den höheren Schulen. Herausgegeben von A. Wangerin. (Sonderabdruck aus den Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, Jahrgang 1904, I. Teil.) Leipzig 1905. Diese Zeitschr. **5**, 708 ff., 1904.

den Genannten schieden die Herren Leubuscher und Verworn zu Beginn d. J. aus, und für sie haben sich die Herren Chun-Leipzig und Cramer-Göttingen zur Mitarbeit in der Kommission bereit finden lassen.

Die Kommission trat Ende Dezember 1904 in Berlin zu einer ersten Gesamtsitzung zusammen, in der vor allem eine allgemeine Aussprache und Verständigung erstrebt wurde. Angesichts des außerordentlich großen Umfangs ihrer Aufgabe beschloß die Kommission, zuvörderst nur die Neugestaltung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts an den drei in Preußen bestehenden Arten von neunklassigen Vollanstalten in den Bereich ihrer Erörterungen zu ziehen, dagegen alle Fragen, die sich auf die übrigen Schularten, auf außerpreußische Verhältnisse, auf die Ausstattung der Anstalten mit Sammlungen, Apparaten, Arbeitsräumen usw., auf die Lehrerausbildung u. dgl. beziehen, bis auf weiteres zurückzustellen. Ferner wurden einige Subkommissionen eingesetzt, um gewisse Spezialfragen für die Behandlung in der Gesamtkommission vorzubereiten. Namentlich wurde eine mathematisch-physikalische und eine biologisch-chemische Subkommission mit derartigen Vorarbeiten betraut. Für einzelne Fragen wurden auch Referenten ernannt. Außer weiteren Gesamtsitzungen fanden auch Zusammenkünfte der Subkommissionen statt, und außerdem diente ein äußerst reger brieflicher Verkehr der fortgesetzten Bezugnahme der einzelnen Kommissionsmitglieder untereinander und zu anderen Fachgenossen, so daß ein sehr ansehnliches Arbeitspensum erledigt worden ist. Nur auf diese Weise, durch Beschränkung der zunächst zu erledigenden Aufgaben und durch intensivste Anspannung, ist es der Kommission möglich gewesen, schon jetzt einen Bericht vorzulegen, durch den sie ihren Auftrag in betreff der preußischen Gymnasien, Realgymnasien und Oberrealschulen als im wesentlichen erledigt ansehen darf.

Die Ergebnisse der Kommissionsarbeit sind niedergelegt in diesem allgemeinen Bericht und in den folgenden Einzelberichten, die sich auf den mathematischen, den physikalischen und den Unterricht in der Chemie und in den biologischen Fächern beziehen. Die Absicht ist, durch möglichst weitgehende Verbreitung dieser Berichte eine Diskussion der in ihnen behandelten Fragen auf breitester Grundlage einzuleiten und gleichzeitig überall um Unterstützung und Mitarbeit zu werben.

In dem gegenwärtigen allgemeinen Bericht sollen nur die Hauptgesichtspunkte hervorgehoben werden, die für die Verhandlungen im allgemeinen maßgebend gewesen sind, während über die speziellen Fragen die Einzelberichte nachzulesen sind.

Es war der Kommission in der Breslauer Resolution die Weisung erteilt worden, möglichst „abgeglichene" Vorschläge zu machen. Die Kommission hat demnach gewissenhaft geprüft, ob die von ihr zu erhebenden Forderungen und Wünsche sich nicht gegenseitig ausschließen und ob einige Wahrscheinlichkeit besteht, die Ansprüche in dem gegebenen Rahmen, was die Zahl der Unterrichtsstunden und den Charakter der einzelnen historisch gegebenen Anstalten betrifft, zur Verwirklichung zu bringen. Denn hier liegt die wahre Schwierigkeit. Im allgemeinen ist es der Kommission gelungen, eine Resultierende aller Einzelbestrebungen zu finden, immer geleitet von dem obersten Gesichtspunkte, daß die Schule eine allgemeinbildende Anstalt sein und bleiben soll. Von einer Vergewaltigung abweichender Ansichten durch einen Mehrheitsbeschluß hat die Kommission Abstand genommen, und da, wo die verschiedenen Meinungen sich nicht zu einer solchen Resultierenden vereinigen ließen, die abweichenden Anschauungen und Überzeugungen gewissenhaft zu Wort kommen lassen. Es ist das glücklicherweise nur in wenigen Fällen eingetreten, ein Beweis für die in der Kommission zutage getretene Einmütigkeit und zugleich ein Kennzeichen für die Stärke der Gründe, die für die Entschließungen der Kommission maßgebend gewesen sind.

Nichts hat der Kommission ferner gelegen, als eine Unterschätzung des formalen, sachlichen und ethischen Bildungswertes der sprachlich-geschichtlichen Unterrichtsfächer; aber sie kann sowohl angesichts der außerordentlich verschiedenartigen menschlichen Beanlagung als auch im Hinblick auf die äußerst wichtige Rolle der mathematisch-naturwissenschaftlichen Bildungselemente in dem Kulturleben der Gegenwart es nicht für richtig halten, daß es erforderlich ist, den Abiturienten aller höheren Lehranstalten eine vorwiegend sprachliche Bildung auf den Weg zu geben. Sie hat sich daher auf folgende allgemeine Leitsätze geeinigt:

Leitsatz 1: Die Kommission wünscht, daß auf den höheren Lehranstalten weder eine einseitig sprachlich-geschichtliche noch eine einseitig mathematisch-naturwissenschaftliche Bildung gegeben werde.

Leitsatz 2: Die Kommission erkennt die Mathematik und die Naturwissenschaften als den Sprachen durchaus gleichwertige Bildungsmittel an und hält zugleich fest an dem Prinzip der spezifischen Allgemeinbildung der höheren Schulen.

Leitsatz 3: Die Kommission erklärt die tatsächliche Gleichberechtigung der höheren Schulen (Gymnasien, Realgymnasien, Ober-

realschulen) für durchaus notwendig und wünscht deren vollständige Durchführung.

Was nun die Mathematik angeht, so sei hier bemerkt, daß der mathematische Unterricht zwar durchaus nicht einen Überfluß an Unterrichtsstunden besitzt, daß aber andrerseits auch keine Vermehrung der Stundenzahl erforderlich scheint. Es handelt sich bei der Mathematik wesentlich darum, daß der Unterricht von manchem Ballast befreit werde, und daß er sich noch mehr den modernen Aufgaben der Schule in dem schon in den methodischen Bemerkungen der preußischen Lehrpläne von 1901 ausgesprochenen Sinne anpasse. Unter voller Anerkennung des formalen Bildungswertes der Mathematik muß auf einseitige und praktisch wertlose Spezialkenntnisse verzichtet, dagegen die Fähigkeit zur mathematischen Betrachtung und Auffassung der Vorgänge in der Natur und in den menschlichen Lebensverhältnissen geweckt und gekräftigt werden. Demgemäß stellt die Kommission die Stärkung des räumlichen Anschauungsvermögens und die Erziehung zur Gewohnheit des funktionalen Denkens als wichtigste Aufgaben des Mathematikunterrichts hin. Dabei bleibt die Pflege der logischen Schulung nicht nur unbeeinträchtigt, sondern sie wird bei der gekennzeichneten Richtung des mathematischen Unterrichts noch gewinnen. Nach diesen Gesichtspunkten hat die Kommission einen Lehrplan für den mathematischen Unterricht entworfen (Bericht I), der auf die humanistischen Gymnasien zugeschnitten ist; eine Übertragung auf die Realgymnasien ist insofern unmittelbar gegeben, als die Kommission im Hinblick auf die für eine Verstärkung der Naturwissenschaften an diesen Anstalten besonders ungünstige Lage beschlossen hat, lieber auf das jetzt daselbst vorhandene Mehr an Wochenstunden zu verzichten, also auf den Realgymnasien von Untertertia ab je eine Wochenstunde Mathematik an die Naturwissenschaften abzutreten. Es würden auf diese Weise Gymnasium und Realgymnasium in bezug auf den mathematischen Unterricht gleichgestellt sein; freilich ist dazu erforderlich, daß die Einschnürung des Mathematikunterrichts in den Tertien der Gymnasien beseitigt wird, so daß vier Stunden Mathematik bezw. Rechnen gleichförmig durch alle Klassen des Gymnasiums (also auch des Realgymnasiums) die Norm bilden.

Nachdrücklich empfiehlt die Kommission eine weitgehende Freiheit des Lehrers in bezug auf die Auswahl der Einzelheiten nach Stoff und Behandlung im Rahmen des allgemeinen Lehrplans. Dieser Freiheit ist auch die Entscheidung über die Art der Berücksichtigung der Infinitesimalrechnung überlassen worden, über die sich im Schoße der Kommission eine Einigung nicht erzielen ließ; die Kommission befürwortet in dem Lehrplane, daß der Unterricht in der Prima des Gymnasiums bis an die Schwelle der Infinitesimalrechnung vordringe, läßt aber hinsichtlich der Form dieses Abschlusses Raum für weitere Erprobungen und für die individuelle Betätigung der einzelnen Lehrer.

Als Endziel des mathematischen Unterrichts am Gymnasium ergibt sich demnach: ein wissenschaftlicher Überblick über die Gliederung des auf der Schule behandelten Lehrstoffs; eine gewisse Fähigkeit der mathematischen Auffassung und ihrer Verwertung für die Durchführung von Einzelaufgaben; endlich und vor allem die Einsicht in die Bedeutung der Mathematik für die exakte Naturerkenntnis und die heutige Kultur überhaupt.

Auf den Oberrealschulen wird und muß — dem Charakter der Anstalten entsprechend — ein Mehr von Wochenstunden für den mathematischen Unterricht verbleiben; dieses Mehr soll nach Meinung der Kommission vor allem zur vertieften Behandlung desselben Stoffs, der auf den Gymnasien verarbeitet wird, verwendet werden, indem einerseits die im Stoff liegenden allgemeinbildenden Momente in verstärktem Maße herausgehoben werden, andererseits den praktischen Anwendungen und der Pflege der zeichnerischen Seite ein breiterer Raum gewährt wird. Während die Minderheit der Kommission die Lehraufgabe hierauf beschränken wollte, spricht sich die Mehrheit für eine mäßige Weiterführung der Lehraufgabe der Oberrealschulen durch Ausgestaltung des Unterrichts in analytischer Geometrie und Infinitesimalrechnung aus. Selbstverständlich soll diese erste Einführung in die Infinitesimalrechnung nicht über die Elemente hinausgehen. Soviel über die Mathematik.

Anders liegt die Sache bei den naturwissenschaftlichen Disziplinen, insofern hier — wie schon erwähnt — ein Teil der Naturwissenschaften, nämlich die biologischen Fächer, bisher von dem Unterricht auf den obersten Klassenstufen überhaupt ausgeschlossen war, während die den übrigen naturwissenschaftlichen Fächern zugewiesene Zeit als nur sehr knapp bemessen erscheint. Hier Wandel zu schaffen, dahin zu wirken, daß der den Naturwissenschaften innewohnende Bildungswert auf den Oberklassen voll zur Geltung komme, erachtet die Kommission für eine ihrer wichtigsten Aufgaben; wie sie sich die praktische Lösung dieser Aufgabe vorstellt, ist aus den anliegenden, auf ein Mindestmaß von 7 Wochenstunden für die oberen Klassen berechneten Lehrplänen ersichtlich (Be-

richte II und III). Sie hat sich dabei einmütig von der Überzeugung leiten lassen, daß das in diesen Lehrplanen dargebotene Maß von naturwissenschaftlicher Bildung für ein volles, auf sicherer Grundlage ruhendes Verständnis des modernen Lebens unerläßlich ist.

Eine Durchführung dieser Lehrpläne hat sie zunächst für die realistischen Anstalten in Aussicht genommen, bei denen die Verwirklichung der aufgestellten Forderungen verhältnismäßig leichter zu erreichen ist; die Einzelheiten dieser Durchführung ergeben sich aus den Lehrplänen selbst.

Was die humanistischen Gymnasien betrifft, so hält die Kommission grundsätzlich an dem Standpunkte fest, daß eine gründliche naturwissenschaftliche Bildung nach Maßgabe der anliegenden Lehrpläne auch für die Abiturienten dieser Anstalten im höchsten Grade notwendig ist, jedenfalls solange bei den herrschenden Verhältnissen, unter denen die humanistischen Anstalten an Zahl die realistischen in so hohem Maße übertreffen, die weit überwiegende Mehrzahl der Männer, die später in leitender Stellung auf die Gestaltung unseres öffentlichen Lebens Einfluß zu nehmen berufen sind, ihre Schulbildung dem humanistischen Gymnasium verdankt.

Die Kommission fordert daher an den Gymnasien zunächst für die Physik eine Vermehrung der Stundenzahl, durch die es ermöglicht werden soll, wenigstens in diesem einen naturwissenschaftlichen Fache den Bildungswert der Naturwissenschaft voll zur Geltung zu bringen.

Eine lehrplanmäßige Verteilung dieses verhältnismäßig geringen Stundenzuwachses auf die Physik und die übrigen naturwissenschaftlichen Fächer würde nur den Erfolg haben, daß in keinem von ihnen ausreichende Unterrichtsergebnisse zu erzielen wären. Es bedarf vielmehr einer beträchtlichen Vermehrung der Stundenzahl, um insbesondere die Biologie und die Chemie in einem Maße zu betreiben, das eine mehr als bloß oberflächliche naturwissenschaftliche Ausbildung gewährleistet. Daß eine entsprechende Stundenzahl von den hierfür wohl allein in Betracht kommenden alten Sprachen abgegeben würde, ließe sich nur durch Zusammenwirken zahlreicher anderer Faktoren erreichen, und es bleibt daher der Kommission nichts anderes übrig, als das Vorhandensein einer klaffenden Lücke in der naturwissenschaftlichen Gymnasialbildung laut zu betonen und den maßgebenden Instanzen anheimzugeben, welche Stellung sie zu dem argen Mißstande einnehmen wollen.

Bezüglich der Realgymnasien erkennt die Kommission einen Mißstand und auch eine Überlastung der Schüler darin, daß in neuerer Zeit der sprachliche Unterricht so außerordentlich überwiegt, und daß insbesondere durch die drei sprachlichen Hauptfächer diese Anstalten zu Sprachschulen umgewandelt sind im Gegensatz zu ihrem Charakter vor 1882.

Auch ist die Kommission der Überzeugung, daß es um den gesamten naturwissenschaftlichen und mathematischen Unterricht auf den höheren Schulen besser bestellt wäre, wenn diesen Fächern auch in den leitenden Stellen eine ausreichende Vertretung gewährt würde; sie spricht daher den Wunsch aus, daß in höherem Maße als bisher geschehen Mathematiker und Naturwissenschaftler zur Leitung der Schulen wie in die oberen Schulbehörden berufen werden.

Die anliegenden Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer, die also im Gegensatz zu dem Plane für den mathematischen Unterricht in erster Linie für die realistischen Anstalten in Betracht kommen, geben im allgemeinen noch zu folgenden Bemerkungen Veranlassung.

A. Für den Unterricht in der Physik (Bericht II) erscheinen der Kommission folgende Grundsätze maßgeblich:

Grundsatz 1. Die Physik ist im Unterricht nicht als mathematische Wissenschaft, sondern als Naturwissenschaft zu behandeln.

Grundsatz 2. Die Physik als Unterrichtsgegenstand ist so zu betreiben, daß sie als Vorbild für die Art, wie überhaupt im Bereiche der Erfahrungswissenschaften Erkenntnis gewonnen wird, dienen kann.

Grundsatz 3. Für die physikalische Ausbildung der Schüler sind planmäßig geordnete Übungen im eigenen Beobachten und Experimentieren erforderlich.

Zur Durchführung dieser Grundsätze und zur vollen Erschließung der dem Physikunterrichte innewohnenden Bildungselemente ergeben sich einige Forderungen in bezug auf die dem physikalischen Unterrichte zur Verfügung zu stellende Zeit. An den Oberrealschulen und den Realgymnasien erweist sich die Erhöhung der Unterrichtszeit der Unterstufe (O III und U II) von zwei auf drei wöchentliche Stunden notwendig, während am Gymnasium wenigstens zwei volle Jahre mit je zwei Wochenstunden für den physikalischen Unterkursus angesetzt werden sollten. Für die physikalische Oberstufe des Gymnasiums wird eine Erhöhung der Stundenzahl auf wöchentlich drei verlangt. In bezug auf die Schülerübungen, auf die neuerdings immer mehr Wert gelegt wird, verlangt der den physikalischen Unterricht behandelnde

Bericht an den Oberrealschulen und den Realgymnasien besondere obligatorische Übungsstunden auf der Oberstufe, während er für die Gymnasien die Einrichtung wahlfreier Übungen auf der Oberstufe in Vorschlag bringt. Auch für die Unterstufe der Realanstalten sind Schülerübungen erwünscht, doch können diese bei drei wöchentlichen Unterrichtsstunden in die Unterrichtszeit selbst verlegt werden.

Von einer Seite ist innerhalb der Kommission noch der Vorschlag gemacht worden, den Unterkursus nach U III und O III zu verlegen; indes trug die Mehrheit der Kommission doch Bedenken, zwischen dem Unter- und dem Oberkursus eine Unterbrechung eintreten zu lassen. Im übrigen sei auf den Lehrplan selbst hingewiesen, der — was auch hier betont werden mag — nur ein Beispiel sein soll, wie der reiche Stoff innerhalb des vorgeschlagenen Rahmens erledigt werden kann.

B. Der letzte Bericht (Bericht III) behandelt den Unterricht in der Chemie nebst Mineralogie und in der Zoologie nebst Anthropologie, Botanik und Geologie. Auch in den hier behandelten Fächern soll überall der empirische Charakter der Naturwissenschaft im Unterrichte hervortreten, indem die Pflege der Anschauung und planmäßigen Beobachtung sowie die Erziehung der Schüler zur Selbsttätigkeit als wichtigste Aufgabe betrachtet wird. Als Mindestmaß des Unterrichts für Chemie nebst Mineralogie sind zwei Wochenstunden von der Untersekunda bis zur Oberprima angenommen, während für die biologischen Fächer, zusammen mit der auf der Oberstufe zu behandelnden Geologie, zwei Stunden durch alle Klassen in Ansatz gebracht worden sind. Zusammenhängende praktische Übungen sind auch in diesen Fächern für einen erfolgreichen Betrieb unentbehrlich; die Kommission erachtet es daher für zweckmäßig, daß die für die Schülerübungen anzusetzende Zeit auch auf die in der Erfahrung bereits bewährten Arbeiten im chemischen Laboratorium und auf biologische Übungen verwendet wird.

Wenn die Vertreter der Chemie geglaubt haben, im Interesse einer Verstärkung der Biologie auf die dritte Unterrichtsstunde, die für die Chemie nach den gegenwärtigen preußischen Lehrplänen in den Oberklassen der Oberrealschulen vorgesehen ist, verzichten zu dürfen, so geschah es zugleich in der Erwartung, daß beide Fächer wie bisher in derselben Hand bleiben, und daß für zusammenhängende Schülerübungen in der erwähnten Weise Raum gefunden wird.

Daneben wird in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern auf technologische Besichtigungen, Schülerausflüge, Besuch von zoologischen und botanischen Gärten usw. besonderer Wert gelegt.

Die Biologie soll im letzten Halbjahr der Oberprima mit der Anthropologie und mit einem elementaren Kursus der physiologischen Psychologie ihren Abschluß finden. Nur so dürfte der spezifische Bildungswert der biologischen Disziplinen zur vollen Geltung kommen. Zugleich ergibt sich die Möglichkeit, auf den in Betracht kommenden Gebieten, welche das Interesse des Schülers erfahrungsgemäß ohnehin im höchsten Maße beschäftigen, einseitigen Ideen durch wissenschaftliche Kritik entgegenzuwirken.

Hygienische Fragen sollen im biologischen und chemischen Unterrichte schon auf der Unterstufe wie auch in den oberen Klassen an verschiedenen Stellen (Luft und Wasser, Eingeweidewürmer, Bakterien usw.), namentlich bei der Besprechung vom Bau des menschlichen Körpers (Verdauung, Atmung, Nervensystem u. a. a. O.) erörtert werden. Indessen ist die Kommission der Meinung, daß die Frage der sexuellen Belehrung als solche nicht in den eigentlichen Lehrplan aufgenommen werden soll. Sexuelle Belehrung, insbesondere Aufklärung über die in sexueller Beziehung vorliegenden Gefahren (wie auch über die Gefahren des Alkoholismus) scheint der Kommission allerdings notwendig. Sie hält es aber für richtiger, daß hiermit nicht ein für allemal der Biologe, sondern jeweils die geeignetste Persönlichkeit (also unter Umständen ein Arzt oder der Direktor der Anstalt usw.) betraut wird. Die Kommission hat die Absicht, im nächsten Jahre auf diese wichtige Frage näher einzugehen und u. a. ein Merkblatt vorzulegen, das den Abiturienten mitzugeben wäre.

Die Geologie ist dem Unterricht der obersten Klasse zugewiesen. Sie soll im Sommerhalbjahr der Oberprima behandelt werden und als Abschluß des chemisch-biologischen Unterrichts den Schülern ein lebendiges Bild unserer Kenntnis von dem Aufbau der Erde darbieten, ebenso wie in der Physik und der Mathematik ein Einblick in die Gesetzmäßigkeit des Kosmos den Abschluß bilden soll.

Bei den nahen Beziehungen der Erdkunde zu den Naturwissenschaften hat sich die Kommission auch mit der Frage des erdkundlichen Unterrichts befaßt. Sie vertritt die Meinung, daß für eine Verknüpfung der Geographie mit dem naturwissenschaftlichen Unterricht zurzeit noch nicht die Voraussetzungen gegeben sind, und sie beschränkt sich darauf, die folgenden Grundsätze auszusprechen:

1. Der Unterricht in der Erdkunde ist in

allen höheren Schularten in angemessener Weise bis in die oberen Klassen durchzuführen.

2. Der erdkundliche Unterricht muß wie jeder andere von fachmännisch gebildeten Lehrern erteilt werden.

3. Es ist wünschenswert, daß das Studium der Erdkunde auf allen Universitäten zu den naturwissenschaftlichen Studien in nähere Beziehung tritt.

Außerdem ist es die Meinung der Kommission, daß die naturwissenschaftlichen und mathematischen Grundlagen der Geographie auf den höheren Schulen in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht zu übernehmen sind.

---

Damit wäre die bisherige Tätigkeit der Kommission in bezug auf ihren Umfang und ihren Inhalt gekennzeichnet.

Aber die Kommission ist sich bei ihren Vorschlägen voll bewußt gewesen, daß diese damit noch einen weiten Weg zur praktischen Verwirklichung zurückzulegen haben. Mit besonderer Genugtuung fügt die Kommission daher hier gleich die Mitteilung an, daß es gelungen ist, das Interesse der Preußischen Unterrichtsverwaltung für die Arbeiten der Kommission zu erwecken. Dieses Interesse hat seinen Ausdruck darin gefunden, daß das Preußische Unterrichtsministerium bereits an einer verhältnismäßig großen Zahl von Anstalten, an denen geeignete Persönlichkeiten wirken, Versuche anstellen läßt darüber, wie sich die wirkliche Durchführung unserer Vorschläge nach verschiedenen Seiten hin — zunächst bezüglich der mathematischen Reformen — gestaltet. Daneben ist auch an einer weiteren Anzahl von Anstalten privatim mit Genehmigung der vorgesetzten Behörden ein entsprechender Versuch in die Wege geleitet worden. Die Kommission hofft, über die Ergebnisse dieser Versuche auf einer der nächsten Versammlungen berichten zu können. Und sie möchte auch an dieser Stelle zu weiteren Versuchen nach allen in Betracht kommenden Richtungen anregen; je mehr Versuchsstationen ihre Erfahrungen sammeln, desto mehr Aussicht ist vorhanden, daß die mit soviel Mühe unternommene Bewegung zu einem guten Ende kommen wird.

Die Kommission kann diesen Bericht nicht abschließen, ohne der Preußischen Unterrichtsverwaltung für das rege Interesse an ihren Arbeiten den ergebensten Dank auszusprechen, und damit die Bitte zu verbinden, das für das Wohl des ganzen deutschen Volkes unternommene Reformwerk auch fernerhin fördern zu wollen.

Auch den Vereinen und Versammlungen, die die Arbeiten der Kommission mit Interesse begleitet und durch Einsendung von Material, Beschlüssen usw. zu fördern gesucht haben, sagt die Kommission den besten Dank; in der Tat war diese Fühlung mit den weitesten Kreisen eine erwünschte Stütze der Kommission bei ihren Entschlüssen und ein Ansporn bei ihren Arbeiten.

Ganz besonderen Dank schuldet nicht nur die Kommission, sondern die Gesamtheit der gebildeten Kreise unseres Vaterlandes dem Vorstande der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte dafür, daß er die großen Mittel der Gesellschaft in den Dienst der allgemeinen Sache gestellt hat. In der Tat sind die der Gesellschaft erwachsenen Ausgaben sehr beträchtlich. Aber wir hoffen zuversichtlich, daß der Vorstand auch weiterhin die Mittel gewähren wird, um das in gutem Fahrwasser befindliche Reformwerk in den sicheren Hafen zu geleiten.

Dieses Reformwerk hat ja eine außerordentliche Tragweite. Wir möchten insbesondere darauf aufmerksam machen, daß auch die Hochschulkreise an demselben unmittelbar beteiligt sind. Zunächst dadurch, daß Form und Inhalt der einleitenden mathematischen und naturwissenschaftlichen Vorlesungen an den Hochschulen durch die Vorkenntnisse bedingt erscheinen, welche die Studierenden von der höheren Schule mitbringen. Dann wieder dadurch, daß die Ausbildung der Lehramtskandidaten auf der Hochschule die geeignete Vorbereitung für die erweiterte Unterrichtsaufgabe sein muß, die ihrer nach unseren Vorschlägen wartet. Die Kommission wird nicht umhin können, später auch zu diesen Fragen ausführlich Stellung zu nehmen. Vorläufig hat sie zwei ihrer Mitglieder (die Herren Chun und Klein) beauftragt, die Sachlage, wie sie sich nach ihrer Meinung des näheren gestaltet, den beteiligten Fachkreisen in besonderen Aufsätzen vorzulegen, um dadurch eine vorläufige, vielseitige Diskussion der in Betracht kommenden Fragen seitens der Fachkreise in die Wege zu leiten.

(Eingegangen 28. September 1905.)

### Diskussion.

Vorsitzender v. Winckel: Ich spreche zunächst der Kommission den Dank der Gesellschaft aus für die außerordentlich mühevollen und eingehenden Beratungen, die sie gepflogen hat. Wenn Sie bedenken, welche Summe von Beschlüssen sie gefaßt hat, wie tief eingreifend dieselben in den bisherigen Unterricht sind, wie schwer zu vereinigen mit den bisherigen Anschauungen, dann werden Sie den Umstand, daß die Beratungen der Kommission, die von ihr ausgearbeiteten Lehrpläne und ihre Begründung der breitesten Kritisierung und Beurtei-

lung zugänglich gemacht werden sollen, sehr erwünscht finden, und zugleich die Überzeugung gewinnen, daß wir jetzt uns auch nicht einigermaßen einlassen können auf die eingehende Diskussion auch nur einzelner Thesen. Daher bitte ich Sie von vornherein, daß etwa ganz allgemeine Wünsche und Zusätze erwähnt werden mögen, die bei den künftigen Beratungen der Kommission berücksichtigt werden mögen, muß Sie aber bitten, das Eingehen auf alle Details zu vermeiden und die Herren, die sich zum Worte melden, auffordern, daß sie auf die allgemeinsten Grundlagen der Thesen sich beschränken mögen. Das Eingehen auf Einzelheiten würde zu weit führen und würde jetzt doch nicht zu Beschlüssen führen.

Herz-Wien: Die nach der vorjährigen Versammlung in Breslau zusammengetretene Kommission hat sich mit dem Standpunkt der deutschen höheren Schulen beschäftigt; die österreichischen Verhältnisse, die von den deutschen teilweise wesentlich verschieden sind, konnten naturgemäß nicht berücksichtigt werden. Aber es würde mir wünschenswert erscheinen, auch diese in Betracht zu ziehen. Da die heutige Versammlung in Österreich tagt, möchte ich mir den Vorschlag erlauben, für Österreich eine ähnliche Kommission zu bilden. Auch hier hat man sich mit diesen Fragen schon beschäftigt, namentlich in den Mittelschulvereinen. Ich kann den Bestrebungen derselben jedoch nicht den Vorwurf ersparen, daß die Universitäten nicht befragt worden sind. Und weiter wurde die Frage in Österreich rein vom mathematisch-physikalischen Standpunkt betrachtet, während die Kommission in Deutschland auch die verwandten Gebiete, die sämtlichen Naturwissenschaften in den Kreis ihrer Beobachtungen gezogen hat. Mein seiner Zeit gestellter Antrag, die Beratungen auch auf die anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen auszudehnen, hat leider keine Zustimmung gefunden. Ich stelle daher den Antrag, hier von seiten der Versammlung selbst eine Kommission zu wählen, oder, da die Geschäftssitzung vorüber ist und dies vielleicht nicht zulässig erscheint, daß die Versammlung den Wunsch ausspricht, 1. daß eine solche Kommission zusammengesetzt zu gleichen Teilen aus Vertretern der Universitäten, der technischen Hochschulen und der Mittelschulen, zusammentrete, und 2. daß diese mit der für Deutschland bestehenden Kommission gemeinsam arbeite und der nächsten Versammlung über ihre Beschlüsse oder Vorschläge Bericht erstatte.

Gutzmer (Referent): In der Abteilung I für Mathematik der diesjährigen Versammlung ist auch über die Frage des Unterrichts in Österreich verhandelt worden und es ist in Aussicht genommen, die Frage der Reform des mathematischen Unterrichts auch dort zur Erörterung zu bringen. Ich glaube, es genügt und ist am förderlichsten, wenn die österreichischen Fachgenossen unter sich arbeiten. Der Gedanke, eine außerordentlich große Kommission arbeiten zu lassen, ist nicht glücklich, eine zwölfgliedrige Kommission reicht gerade an die Grenze der Arbeitsfähigkeit des Vorsitzenden und der Mitglieder. Beide Kommissionen — falls die österreichische zustande kommt — werden ja Fühlung nehmen, aber ein Zusammenarbeiten beider halte ich nicht für ersprießlich. Weiter bemerke ich, wir haben bisher speziell die preußischen Verhältnisse erörtert und haben noch viel zu tun mit den außerpreußischen Ländern Deutschlands und können daher noch nicht an Österreich denken. Ich bitte Sie daher, die Kommission in dieser Richtung nicht zu binden. Über österreichische Verhältnisse zu urteilen, steht mir nicht zu; ich kann aber sagen, daß uns bei der Arbeit in der Kommission die österreichischen Lehrpläne als ganz ausgezeichnete Leistungen erschienen sind.

Vorsitzender v. Winckel: Es liegt also der Antrag vor[1]), die Bildung einer Kommission aus Vertretern der Universitäten, technischen Hochschulen und Mittelschulen in Österreich zu empfehlen, welche die Frage der Reform des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts in Österreich beraten und gemeinsam mit der für Deutschland bestehenden Kommission Vorschläge ausarbeiten soll. Der Referent, wie Sie gehört haben, tritt dem Antrage nicht bei, weil die Verschmelzung der beiden Kommissionen die Entscheidung über die einzelnen Fragen außerordentlich erschweren würde.

Czuber-Wien: Auch ich bitte Sie, den Antrag abzulehnen, da die Verhältnisse bei uns in Österreich ganz anders liegen. Bei uns steht im Vordergrund des Interesses nicht eine Reform des naturwissenschaftlichen, sondern lediglich des mathematischen Unterrichts. In der mathematischen Sektion ist dies in einem ausführlichen Referat eingehend dargelegt worden und die Einsetzung einer Kommission, und zwar von regierungswegen, beantragt, welche die Reform des mathematischen Unterrichts beraten soll.

Der Antrag Herz wird hierauf gegen wenige Stimmen abgelehnt.

1) Schriftlich formuliert ist derselbe nicht eingegangen.

# VORTRÄGE UND ABHANDLUNGEN VOM ERSTEN INTERNATIONALEN KONGRESS ZUM STUDIUM DER RADIOLOGIE UND IONISATION ZU LÜTTICH.

## August Righi, Die Elektrisierung von Radiumstrahlen ausgesetzten Körpern.

Bekanntlich entsenden Körper, auf die von einer radioaktiven Substanz ausgesandte Strahlen fallen, neue Strahlen, die Sekundärstrahlungen, die zum größten Teile nach den angestellten Versuchen dieselbe Konstitution wie Kathoden- oder $\beta$-Strahlen besitzen, also durch eine Emission von negativen Elektronen erzeugt werden.

Wenn man als radioaktive Substanz ein Radiumsalz anwendet, das drei Arten von Strahlungen ($\alpha$, $\beta$, $\gamma$) entsendet, so wird die beobachtete Wirkung im allgemeinen besonders von den $\beta$-Strahlen herrühren, da die $\alpha$-Strahlen von dünnen festen Platten oder von einigen Zentimetern Luft absorbiert werden; was die $\gamma$-Strahlen anbelangt, so ist ihre Wirkung im Verhältnis sehr gering, wenn man sie nicht durch Abschwächung der $\beta$-Strahlen vermittels Absorption zu isolieren sucht.

Der Körper, auf den die Strahlen auftreffen, ist daher zwei entgegengesetzten Elektrisierungsursachen ausgesetzt, da er eine negative Ladung durch Absorption der $\beta$-Strahlen und eine positive Ladung infolge der Aussendung sekundärer Strahlen annimmt. Die erste der beiden Elektrisierungsursachen ist vorherrschend, und der Körper ladet sich negativ.

Das Ergebnis wäre ein entgegengesetztes, wenn man an Stelle der $\beta$-Strahlen $\gamma$-Strahlen, X-Strahlen oder ultraviolette Strahlen anwendete, da diese Strahlungen keine elektrischen Ladungen tragen, wenn sie auch ihrerseits Sekundärstrahlen erzeugen.

Bei den Versuchen mit ultravioletten Strahlen kann der Körper von Luft bei gewöhnlichem Atmosphärendruck umgeben sein; man muß jedoch jedes Gas entfernen, wenn es sich um andere Strahlungen handelt, da diese die Gase ionisieren und leitend machen. Man muß also den Körper, der sich unter der Einwirkung der Radiumstrahlen elektrisieren soll, im Vakuum anbringen, wenn man seine Ladungsgeschwindigkeit messen will und auf diese Weise die Sekundäremission von Elektronen untersuchen, was den Hauptzweck meiner gegenwärtigen Untersuchungen darstellt.

Die Apparate. Ein Glasbehälter, in dem die Luft in der Weise verdünnt ist, daß ihr Druck nicht 1 Tausendstel Millimeter überschreitet und der im Innern mit einem mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Metallnetz bedeckt ist, enthält die zu untersuchende Substanz in der Form einer 5 cm im Durchmesser messenden Scheibe, die mit einem Quadranten-Elektrometer in Verbindung steht. Die der Scheibe gegenüberliegende Wand besitzt eine Durchbohrung von 2 cm Durchmesser, die von einer Aluminiumplatte geschlossen ist. Letztere hält den äußeren Druck sehr gut aus, obwohl ihre Dicke nur ungefähr 85 Tausendstel Millimeter beträgt. An diese Platte legte ich im Innern der Glocke eine kleine Ebonitkapsel an; diese war durch eine dünne Glimmerplatte verschlossen und enthielt 15 Milligramm reinen Radiumbromids.

Die Entfernung zwischen der Aluminiumplatte und der Scheibe betrug im allgemeinen 1 cm. Dicke Bleiplatten waren so angebracht, daß sie die Strahlen daran verhinderten, zu dem Elektrometer und zu dem mit der Platte in Verbindung stehenden Draht zu gelangen (letzterer war von einer mit der Erde in Verbindung stehenden Metallröhre umgeben).

Da die Leitfähigkeit der von den Radiumstrahlen passierten Luft sehr beträchtlich ist, selbst wenn ihr Druck kleiner als 1 Tausendstel Millimeter ist, habe ich die Veränderung des Elektrometerpotentials festgestellt, die während einer Sekunde durch die gleichzeitige Einwirkung der auffallenden $\beta$-Strahlen und der ausgesandten Sekundärstrahlen hervorgerufen wird.

Ich fange damit an, daß ich die Platten (und das Elektrometer) auf ein positives Potential, z. B. 0,4 Volt, lade und die Zeit messe, die erforderlich ist, um die Platte auf das Potential —0,4 Volt zu bringen. Ich dividiere 0,8 Volt durch die obige in Sekunden ausgedrückte Zeit und erhalte mit genügender Annäherung die Veränderung des Potentials pro Sekunde. Die Leitfähigkeit der ionisierten Luft hat nämlich die Potentialveränderung zwischen 0,4 Volt und Null beschleunigt und so ziemlich um denselben Betrag die Veränderung von Null bis auf —0,4 Volt verzögert.

Wenn man den Unterschied des Berührungspotentials zwischen der Scheibe und der Wand in Rechnung ziehen will, was im allgemeinen nicht gestattet ist, so bedarf diese Methode einer Korrektion. Offenbar muß man nicht das Anfangs- und das Endpotential in derselben Entfernung von Null nehmen, sondern in derselben Entfernung von der der Berührungsdifferenz entsprechenden Abweichung. Wenn Scheibe und Wand sich auf demselben Potential befinden, übt nämlich die Leitfähigkeit der Luft keinerlei Einfluß aus; nur erfährt in diesem

Augenblick das Elektrometer eine Ablenkung, welche genau die Potentialdifferenz mißt. Man kann diese im voraus annähernd z. B. in der Art bestimmen, daß man das Radium einwirken läßt, während die Luft im Behälter sich auf Atmosphärendruck befindet.

Ergebnisse. Die vierte Spalte folgender Tabelle gibt in Millivolt die Potentialveränderungen pro Sekunde an, die ich an den einzelnen Substanzen beobachtet habe, deren Atomgewichte in der zweiten Spalte auftreten. Die dritte Spalte gibt in Millimetern die Dicke der benutzten Scheibe an.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Kohle | 12,003 | 10 | —53 |
| Aluminium | 27,08 | 5,87 | „ 46 |
| Schwefel | 32,063 | 4 | „ 45 |
| Eisen | 56 | 2 | „ 43 |
| Nickel | 58,5 | 5 | „ 41 |
| Kupfer | 63 44 | 2 | „ 40 |
| Zink | 65,38 | 1,9 | „ 40 |
| Silber | 107,938 | 2 | „ 33 |
| Zinn | 118,10 | 5,6 | „ 32 |
| Tellur | 125 | 2 | „ 27 |
| Platin | 194,83 | 0,1 | „ (21) |
| Blei | 206 911 | 2 | „ 26 |
| Wismut | 208,5 | 2 | „ 23 |

Wenn wir vom Platin absehen, dessen Dicke vielleicht nicht zum Aufhalten aller $\beta$-Strahlen genügte, so sehen wir, daß die Aussendung von Sekundärstrahlen um so stärker ist, je größer das Atomgewicht der Substanz ist. Neuerliche Versuche von Herrn Mac Clelland (Phil. Mag. Februar 1905), die in anderer Weise angestellt wurden und sich nur auf einige der erwähnten Substanzen beziehen, haben dasselbe für die Theorie sehr wichtige Ergebnis geliefert.

Bei den von mir angestellten Versuchen waren die Kreisscheiben stets, vom Platin abgesehen, dick genug, um den größten Teil der $\beta$-Strahlen aufzuhalten. Man begreift von vornherein, daß die von der Kreisscheibe angenommene Ladung mit abnehmender Dicke, während sonst alles gleich bleibt, immer kleiner werden muß. Ein immer größerer Betrag an $\beta$-Strahlen wird dann nämlich, ohne aufgehalten zu werden und ohne eine Sekundärstrahlung zu erzeugen, durch die Platte hindurchgehen. Dünne Gold- und Aluminiumfolien laden sich z. B. nicht in nennenswertem Betrage.

Ich habe mir dies zur Untersuchung von schlechten Leitern, wie Schwefel, zunutze gemacht; die dielektrische Kreisscheibe wurde mit einer dünnen Aluminiumfolie umwickelt, die mit dem Elektrometer in Verbindung stand; dann zeigte dieser eine Ablenkung unter der Einwirkung der in der Masse enthaltenen Ladungen, ganz als ob die Kreisscheibe leitend wäre. Es scheint nämlich, daß man eine Verteilung von negativer Elektrizität im Innern eines Dielektrikums, das $\beta$-Strahlen oder Kathodenstrahlen absorbiert, nicht ableugnen darf.

Die folgende Tabelle gibt in Millivolt pro Sekunde die Potentialveränderungen an, die ich an Kreisscheiben verschiedener isolierender oder wenig leitender Substanzen beobachtet habe; alle Kreisscheiben waren so dick, daß sie die einfallenden $\beta$-Strahlen so ziemlich vollständig aufhielten.

Die einzelnen dem Versuch unterzogenen Substanzen wurden erst pulverisiert und dann in eine sehr dünne, 5 cm im Durchmesser besitzende Aluminiumkapsel gelegt.

| | |
|---|---|
| Gummilack | —46 |
| Ebonit | „ 40 |
| Paraffin | „ 53 |
| Selenit | „ 30 |
| Spiegelglas | „ 50 |
| Eis | „ 43 |
| Baritin | „ 40 |
| Borsäure (in Pulverform) | „ 60 |
| Lithiumcarbonat (dito) | „ 55 |
| Mennige (dito) | „ 31 |
| Zinnober (dito) | „ 32 |
| Quecksilber-Bisulfat (kleine Kristalle) | „ 29 |
| Silbernitrat (dito) | „ 38 |
| Jod-Wismut (in Pulverform) | „ 30 |

In Anbetracht der Natur der von mir angestellten Versuche können diese Zahlen nur eine beschränkte Genauigkeit bieten; es wäre daher unbegründet, z. B. den Schluß zu ziehen, daß die Ladung von Zinnober wirklich größer als die von Mennige wäre. Die erzielten Resultate gestatten jedoch die Bemerkung, daß die fünf an letzter Stelle aufgezählten Substanzen, die die Elemente mit hohem Atomgewichte enthalten, sich verhältnismäßig wenig laden und daher eine beträchtlichere Ausstrahlung von Sekundärstrahlen erzeugen. Es scheint daher, daß selbst in zusammengesetzten Molekülen die Atome ihre spezifische Fähigkeit behalten, solche Strahlen hervorzubringen.

(Aus dem Französischen übersetzt von Alfred Gradenwitz.)

(Eingegangen 8. September 1905.)

## Gesuche.

**Grosse Elektrizitätsfirma in Berlin**

sucht für das Laboratorium ihrer Abteilung Röntgenapparate einen jungen Physiker oder wissenschaftlich gebildeten Ingenieur als Assistenten.

Nur Herren, welche sowohl in der Behandlung als auch in der Konstruktion von Röntgenapparaten Erfahrung besitzen, wollen sich unter Einreichung eines kurzen Lebenslaufes, Angabe der Gehaltsansprüche und Referenzen melden in der Exped. d. Zeitschr. unter **No. 207.**

Für die Redaktion verantwortlich Privatdozent Dr. Emil Bose in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.